

Bestemmelse af ensileringstab*Determination of ensiling losses*

E. J. Nørgaard Pedersen

INDHOLDSFORTEGNELSE

I.	Indledning	562	af organisk stof ud fra kemiske analyser	579
II.	Stoftab ved ensilering	562	d. Sammenligning af laboratoriemetoder til bestemmelse af fordøjelighed	580
	A. Indledning	562	e. Vurdering af fordøjelighed ved sammenligning med andre tilsvarende afgrøder	581
	B. Tørstoftab	562	D. Modificerede formler til beregning af foderenheder	581
	C. Tab af organisk stof	564	E. Værditallet	583
	D. Tab af sandfri tørstof	568	IV. Sammenfattende vurdering af mulighederne for en tilfredsstillende bestemmelse af ensileringstab ved de traditionelt anvendte metoder	586
	E. Tab af protein	568	V. Ensileringsprocesserne	586
	1. Tab af råprotein	569	A. Årsager til ensileringstab	586
	2. Tab af renprotein	569	B. Tab ved saftafløb	587
III.	Tab af foderværdi	570	C. Tab ved iltningprocesser	587
	A. Indledning	570	D. Tab ved anaerobe omsætninger	588
	B. Den kemiske sammensætning	571	VI. Nyere metoder til bestemmelse af foder-værditabet	591
	1. Fodermiddelanalsen	571	A. Indledning	591
	2. Fedt	571	B. Bestemmelse af tab af fordøjelig energi på basis af kemiske analyser	592
	3. Træstof	571	C. Bestemmelse af ensileringstab på basis af kalorimetri	594
	4. Kvælstoffri ekstraktstoffer, Nfe ..	573	D. Direkte bestemmelse af ensileringstab	595
	C. Fordøjelighedskvotienterne	573	E. Korrektion af den fordøjelige energis værdi	598
	1. Metoder til bestemmelse af fordøjelighed	573	VII. Appendiks. Fodringsforsøg til bestemmelse af ensileringstab	599
	2. Bestemmelse af fordøjeligheden ved dyreforsøg	574	VIII. Resumé	601
	a. Betydningen af fordøjelighed ..	574	IX. Summary	603
	b. Den eksperimentelle betydning af fordøjelighed	575	Litteratur	605
	3. Bestemmelse af de enkelte fordøjelighedskvotienter	575		
	a. Fordøjeligheden af det organiske stof	575		
	b. Fordøjeligheden af protein, fedt, træstof og Nfe	576		
	4. Bestemmelse af fordøjelighed ved laboratoriemetoder	577		
	a. Relationen mellem den tilsyneladende og den sande fordøjelighedskvotient	577		
	b. Bestemmelse af fordøjeligt organisk stof ved »in vitro« metoden	579		
	c. Bestemmelse af fordøjeligheden			

I. INDLEDNING

Formålet med nærværende afhandling er at give en kritisk vurdering af forskellige mål for ensileringstab, som har været benyttet eller eventuelt kunne tænkes benyttet.

Der er tilstræbt en fuldstændig oversigt over alle forhold af betydning for tabsbestemmelsen såsom analyseusikkerheder, usikkerheder ved analysernes betydning, mangler ved beregningsformler m. v. En del af de behandlede emner kan derfor måske umiddelbart forekomme noget periferiske, men de er medtaget, fordi de er skønnet af betydning for helheden.

Afhandlingen er baseret dels på forsøg udført ved Statens forsøgsstation ved Ødum, hvis resultater i de fleste tilfælde er publiceret tidligere, og dels på litteraturstudier.

Emnet som helhed har, så vidt det er forfatteren bekendt, ikke tidligere været behandlet i litteraturen. Derimod foreligger der om de fleste af de enkeltproblemer, som emnet omfatter, en meget fyldig litteratur. Da emnet er meget vidtspændende og litteraturen som nævnt meget omfattende, er det betragtet som formålsløst at tilstræbe en fuldstændig litteraturoversigt. Litteraturhenvisningerne er derfor begrænset til publikationer, som er skønnet repræsentative, og fortrinsvis er henvist til skandinavisk litteratur.

Det skal præciseres, at afhandlingen især sigter mod at klarlægge, hvordan tabet af energisk foderværdi mest hensigtsmæssigt bestemmes. Tabet af proteinværdi er dog ret indgående omtalt, hvorimod tabet af mineralstoffer og vitaminer ikke er omtalt. Tabet af økonomisk værdi er kort berørt.

Den læser, der i afhandlingen vil søge en entydig anvisning på, hvordan ensileringstab i et givet tilfælde mest hensigtsmæssigt udtrykkes, vil blive skuffet. Den opfattelse, som jeg er nået frem til ved udarbejdelse af afhandlingen, er, at en sådan anvisning slet ikke kan gives. Man er derfor henvist til i de enkelte tilfælde at skønne over hvilke mål for tab, det vil være hensigtsmæssigt at benytte. En rationel udøvelse af et sådant skøn forudsætter en indgående forståelse af de enkelte tabsmåls

betydning, og det er mit håb, at denne afhandling kan bidrage til en mere udbredt erkendelse heraf.

Selv om det specielt er ensileringstab, der behandles, vil en stor del af problematikken også være relevant ved bestemmelse af tab ved andre konserveringsmetoder og iøvrigt ved mange andre landbrugsforsøg, hvor tørstof, foderværdi etc. bestemmes.

II. STOFTAB VED ENSILERING

A. Indledning

Stoftabet ved ensilering bestemmes traditionelt på den måde, at stofmængden i henholdsvis grønt og ensilage bestemmes, hvorefter ensileringstabet beregnes som differens. I et ensileringforsøg indgår derfor altid vejning af den totale mængde grønt og ensilage. Erfaringsmæssigt er bestemmelsen af disse totalmængder ofte behæftet med en betydelig usikkerhed. Når der udvises stor omhu, og der benyttes hensigtsmæssigt apparatur og gode vægte, kan denne usikkerhed imidlertid reduceres så meget, at den bliver ret betydningsløs. At udtage repræsentative prøver af grønt og ensilage kan også volde store vanskeligheder. Ved anvendelse af en passende teknik kan der dog opnås en god prøveudtagning.

Usikkerheder ved vejning og prøveudtagning gør sig gældende uanset hvilket mål for tab, der benyttes, og har således ingen betydning for hvilket mål, der må foretrækkes. Problemerne vedrørende vejning og prøveudtagning skal derfor ikke her omtales nærmere.

B. Tørstoftab

Tørstoftabet er det simpleste mål for ensileringstab. I de første ensileringforsøg udført ved statens forsøgsvirksomhed i plantekultur er kun dette tab anført (*R. K. Kristensen 1923*).

Tørstoftabet er ikke et tilstrækkeligt godt mål for ensileringstab, da det er de lettest omsættelige, mest værdifulde stoffer, der tabes både ved saftafløb, iltning og gæring. Men her til kommer, at tørstofbestemmelsen har adskil-

lige fejlkilder, som kan få afgørende indflydelse på størrelsen af det tørstoftab, der bestemmes. Det er derfor af væsentlig betydning at klarlægge, hvilke fejlkilder tørstofbestemmelsen kan være behæftet med.

Ved tørstof forstås sædvanligvis den del af stoffet, der bliver tilbage efter tørring under bestemte definerede betingelser. Der er ikke fuld enighed om, hvordan disse betingelser bør være, men oftest angives tørring ved 80–100°C i ventileret ovn i 15–24 timer.

Uanset hvordan tørringen foretages, kan der tabes andre stoffer end vand under tørringen. Alt andet lige tabes almindeligvis mere af andre stoffer, jo højere tørringstemperaturen er, og jo længere tørringstid der benyttes. På den anden side kan alt vand ikke fjernes, hvis der tørres ved for lav temperatur eller i for kort tid.

Man søger derfor ofte at foretage tørringen på en sådan måde, at vægten af den efter tørringen tilbageblevne mængde vand opvejes af vægten af andre stoffer tabt under tørringen. Man tilstræber med andre ord, at ligningen

$$100 \div \% \text{ tørstof} = \% \text{ vand}$$

kommer til at gælde med bedst mulig tilnærmelse, og væsentlige afvigelser fra ligningen vil sædvanligvis blive betragtet som fejl.

Der er udfoldet store anstrengelser for at udforme metoder, der gør det muligt at bestemme den »sande« tørstofprocent.

Som eksempel på sådanne metoder kan nævnes tørring i vaccuum, frysetørring eller tørring i en strøm af inaktiv luft (N₂, CO₂), og metoder, hvor tørringstid og temperatur defineres meget skarpt. Også bestemmelse af tørstof ved pyknometri har været foreslået (Nissen 1954).

En vanskelighed ved bedømmelse af en metodes »rigtighed« er, at det oftest er vanskeligt eller umuligt at finde et objektivt mål for, hvad den »sande« tørstofprocent er. Dette har bevirket, at der oftest lægges langt større vægt på en metodes reproducerbarhed og undertiden på dens overensstemmelse med en anden vilkårlig metode end på dens rigtighed.

Tørstof-tabene under tørring kan have for-

skellige årsager. Ved tørring af fugtige prøver kan der ske nedbrydning ved ånding og mikrobielle omsætninger i den første del af tørringsperioden, og det er velkendt, at hvis tørreovnen overfyldes, så tørringen tager for lang tid, kan dette blive en meget alvorlig fejlkilde. Bl. a. for så vidt muligt at eliminere denne fejlkilde, er foreslået tørring i mikrobølgeovne, hvor fordampningen sker så hurtigt og ved så lav temperatur, at biologiske omsætninger kun får et ringe omfang (Hofman 1965, Jones and Griffith 1968). Mest alvorligt er dog almindeligvis brankningsprocesser, hvorved organiske stoffer spaltes i kuldioxyd, vand og eventuelt andre flygtige forbindelser. Som eksempel på brankningsprocesser kan nævnes den såkaldte Maillards reaktion, der beror på, at aminosyrer reagerer med monosakkarider, hvorved dannes termolabile forbindelser, som ved opvarmning fraspalter vand og kuldioxyd under dannelse af brunfarvede forbindelser.

Ved tørring af olieholdige frø kan der ske en forøgelse af tørstofmængden under tørringen, idet de umættede syrer optager ilt. Omend man ikke helt kan se bort fra, at lignende processer kan ske også ved tørring af andre afgrøder og ensilage, spiller de formentlig en så ringe rolle, at det er uden betydning.

Ved tørstofbestemmelse i ensilage er der den særlige vanskelighed, at ensilage indeholder betydelige mængder flygtige stoffer – flygtige syrer, alkoholer m. m. – som helt eller delvis fordamper under tørringen. Ønskes disse flygtige stoffer medregnet i tørstoffet, må den mængde, der fordamper, bestemmes ved særlige analyser. Dette betyder en ret betydelig forøgelse af analysearbejdet, og undertiden foretrækker man i stedet at beregne, hvor meget der fordamper. Simplest er det at regne med, at en bestemt brøkdel fordamper, og denne fremgangsmåde er da også ret almindeligt anvendt. Jarl og Hellberg (1954) regner således med, at 85 % af eddikesyren og 100 % af smørsyren fordamper. Undersøgelser ved Ødum forsøgsstation (Nørgaard Pedersen og Møller 1965) gav nogenlunde samme resultat for normale ensilager med pH-værdier omkring 4 og

med normalt indhold af flygtige syrer. Imidlertid viste undersøgelserne, at den procentdel af de flygtige syrer, der fordampes, kan variere fra 0 til næsten 100 afhængigt af ensilagens pH og dens absolutte syreindhold. Kan fordampningen derfor ikke bestemmes direkte, bør den fordampede mængde syre bestemmes ud fra en regressionsligning. I ovennævnte betegnelse fandtes ligningen

$$Z = 153,79 \div 16,20x \div 0,3061y,$$

hvor Z = procent af flygtige syrer fordampet, x = pH og y = procent tørstof/procent flygtige syrer, at give den bedste tilnærmelse.

Ensilage indeholder også betydelige mængder alkohol. I ensilage af meget sukkerrige afgrøder som bederoer kan indholdet nå op på 2 pct. (*Statens forsøgsvirksomhed i Plantekultur* 1957). Men også i ensilage af mere almindelige ensileringsafgrøder kan alkoholindholdet være meget højt (*Laube* 1967, *Nørgaard Pedersen* 1971, *Nørgaard Pedersen og Witt* 1973). Siden 1965 har alkoholbestemmelse derfor indgået som et normalt led i ensilageanalyserne ved Ødum forsøgsstation. Da alkoholen må formodes at fordampe næsten kvantitativt (*Nørgaard Pedersen* 1967), korrigeres tørstofprocenten med 100 procent af alkoholens vægt.

Almindeligvis regnes mælkesyre ikke at være flygtig. Imidlertid fandt *McDonald* og *Dewar* (1960), at der ved tørstofbestemmelsen fordampede ret betydelige mængder, fra 1,4 til 16,4 procent af den totale mængde. At der fordampes mælkesyre ved tørringen er senere bekræftet (*Dewar and McDonald* 1961, *Nørgaard Pedersen og Møller* 1965). Mælkesyren giver iøvrigt det særlige problem ved tørringen, at to molekyler mælkesyre kan fraspalte et molekyle vand under dannelse af laktymælkesyre. Ved denne omsætning taber mælkesyren ca. 10 % af sin vægt. Omsætningen kan tjene som eksempel på, at det kan være svært skarpt at skelne mellem kemisk og fysisk bundet vand.

Man har søgt at undgå vanskelighederne ved tørstofbestemmelsen ved at foretage en vandbestemmelse ved destillation med toluen (*Liehes* metode, f. eks. beskrevet i »*Kemiske Ana-*

lysemetoder II« 1944). Ved denne metode spiller det ingen rolle, om tørstoffet under destillationen fraspalter kuldioxyd. Dannes derimod vand ved sønderdeling af tørstof, vil dette naturligvis bevirke en fejl ved vandbestemmelsen. Til ensilage er metoden dog ikke helt ideel, idet en del flygtige stoffer opløses i vandfasen, og ønskes en præcis vandbestemmelse, må vandfasens indhold af flygtige syrer og alkohol derfor bestemmes (*McDonald og Dewar* 1960, *Dewar og McDonald* 1961, *Weissbach og Laube* 1964, *Wilson, Tilley and Steemers* 1964, *Fenner and Barnes* 1965, *Voss* 1965, *Todorov* 1967). Overdestillation af flygtige syrer kan undgås, hvis ensilagen gøres alkalisk før destillationen, men flygtige alkoholer vil dog stadig udgøre et problem (*Kemiske Analysemetoder II* 1944).

Det er umiddelbart indlysende, at tørstofbestemmelsens – eller vandbestemmelsens – fejlkilder kan have forskellig betydning ved analyser i afgrøde og ensilage. Det kan derfor være vanskeligt at afgøre, hvilken metode der må foretrækkes, og det kan meget vel tænkes, at valget af metode kan have betydelig indflydelse på størrelsen af det tab, der konstateres ved ensileringen.

C. Tab af organisk stof

Meget almindeligt udtrykkes ensileringstab ved tabet af organisk stof. Ved *Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur* har dette mål således været benyttet siden 1956.

Da organisk stof er defineret som tørstof ÷ aske, er det klart, at bestemmelse af organisk stof er behæftet med alle de usikkerheder, der knytter sig til såvel tørstofbestemmelsen som askebestemmelsen.

Ved aske forstås den del af tørstoffet, der bliver tilbage, når alt brændbart er glødet bort ved 550°C. Aske betragtes sædvanligvis som et mål for mineralstofindhold, endog således, at askeindhold og mineralstofindhold oftest regnes som identiske begreber.

Da der er grund til at tvivle på, at der består en sådan identitet, er det af betydelig interesse at undersøge hvilken relation, der faktisk er

mellem askeindhold og mineralstofindhold, idet mineralstofindholdet rimeligt kan defineres som den samlede vægt af plantematerialets uorganiske stoffer inden forbrænding.

Der er en del analytiske problemer ved askebestemmelsen. Glødes f. eks. ved højere temperatur end 550°C , kan visse salte således fordampe, hvilket resulterer i, at der findes lavere askeindhold. Også ved 550°C kan der ske en vis fordampning af salte, men formentlig kun ubetydelige mængder, og oftest vil det ikke være muligt at opnå en fuldstændig forbrænding ved lavere temperatur. Disse analytiske problemer bør ikke bagatelliseres, men skal dog ikke her omtales nærmere, idet det egentlige problem bliver, om askeprocenten kan formodes at være et tilfredsstillende mål for mineralstofindholdet. At dette er tilfældet, tages tilsyneladende almindeligvis for givet, idet problemet – så vidt forfatteren har kunnet konstatere – kun er meget sparsomt behandlet i litteraturen.

Ved nogle undersøgelser over aske- og sandbestemmelse i roetop (*Nørgaard Pedersen*, 1961) viste det sig, at aske af roetop – især bederoetop – almindeligvis indeholder meget betydelige mængder karbonat. Dette er ikke overraskende, da de fleste afgrøder optager flere ækvivalenter kation end anion, idet balancen opretholdes ved, at planten udskiller brintioner. Eksempelvis fandtes ved analyse af 77 græsser, at summen af K^+ , Na^+ , Ca^{++} og Mg^{++} gennemsnitlig var 142 ækvivalenter pr. 100 kg tørstof, medens summen af Cl^- og Po_4^{---} gennemsnitlig kun var 71 ækvivalenter pr. 100 kg tørstof (*Nørgaard Pedersen*, *Møller* og *Skovborg* 1968). Da de nævnte ioner kan regnes at udgøre mindst 95 % af planternes totale mineralstofindhold, bliver der således et overskud af uorganiske kationer på ca. 70 ækvivalenter pr. 100 kg tørstof. Dette betydelige overskud af kationer forbinder sig naturligvis under foraskningen med kuldioxyd, der udvikles ved forbrænding af organisk stof, hvorfor asken får et stort karbonatindhold, der åbenbart ikke er af uorganisk oprindelse.

For nærmere at undersøge dette forholds

betydning blev bestemt karbonat i asken af en række almindelige afgrøder og nogle ensilager. Bestemmelserne udføres ved hjælp af Scheiblers apparat, der vel ikke giver særlig præcise analyser, men dog for formålet tilstrækkeligt nøjagtige resultater. Resultatet af analyserne er anført i tabel 1.

Det ses, at karbonat udgør en betydelig del af asken, og at variationen fra afgrøde til afgrøde er meget stor, udtrykt i procent af tørstoffet fra 0,3 til næsten 4. Det bemærkes, at alle de undersøgte prøver var mere eller mindre forurenede med jord, hvoraf sand udgør ca. 90 %.

Jordindblanding bevirker en betydelig nedgang i askens karbonatindhold både absolut og relativt. Dette skyldes antageligt, at i nærværelse af jord bindes de overskydende kationer delvis til jordens sand- og lerpartikler under dannelse af silikater, hvorved der bliver et mindre overskud af kationer til binding af karbonat. Dette bevirker, at foraskes afgrøde og jord hver for sig, fås en betydelig større mængde aske, end hvis afgrøde og jord foraskes i blanding. Dette forhold er mere indgående behandlet andetsteds (*Nørgaard Pedersen*, 1961), hvor det eksempelvis fandtes, at når bederoetop blandedes med en jord, der indeholdt 95,80 % aske, steg roetoppens askeindhold kun med 87,80 g pr. 100 g jord, altså kun med 91,7 % af den værdi, man skulle forvente.

Interessant er det, at ensilagerne fremstillet uden syretilsætning har et højt karbonatindhold i asken, medens dette indhold i den tilsvarende ensilage fremstillet med AIV-syre er lavt (tabel 1). Dette skyldes rimeligvis, at i sidstnævnte ensilage har sulfat i betydelig grad erstattet karbonat. Dette forhold bevirker naturligvis en betydelig usikkerhed ved bedømmelse af ensileringsstabene i forsøg, hvor ensilering uden tilsætning sammenlignes med ensilering efter AIV-metoden eller med ensilering med tilsætning af andre stoffer. Disse problemer er søgt belyst i et par forsøg, hvis resultater delvis har været offentliggjort tidligere (*Land Jensen*, *Mølle*, *Møller* og *Nørgaard Pedersen*, 1962). Forsøgene udførtes med ensilage af roetop og

Tabel 1. Karbonatindhold i aske af forskellige afgrøder
 Table 1. Contents of carbonate in ash from various crops

Afgrøde Crop	% af tørstof aske sand		CO ₃ i % af aske tørstof	
	% of DM ash sand		CO ₃ as % of ash DM	
Fodersukkerroetop	19,70	5,22	16,6	3,27
Kålroetop	12,24	1,27	19,5	2,39
Fodermarvkål	44,75	34,81	1,9	0,85
Sukkerroe, Hinderupgård	5,50	1,61	26,9	1,48
Fodersukkerroe	4,79	0,17	35,9	1,72
Kålroe	6,41	0,73	23,3	1,49
Kartoffel	5,84	0,17	36,4	2,13
Kløvergræs, 1. slæt	11,77	2,41	19,8	2,33
Kløvergræs, 4. slæt	10,83	3,03	8,7	0,94
Græs, svagt gødet 1. slæt	9,94	2,49	7,2	0,72
Græs, svagt gødet 2. slæt	9,73	2,08	14,5	1,41
Græs, stærkt gødet 1. slæt	11,22	1,50	13,2	1,48
Græs, stærkt gødet 2. slæt	9,11	1,43	16,9	1,54
Byg	2,14	0,27	17,2	0,37
Havre	3,05	0,90	10,4	0,32
Byghalm	3,42	0,82	22,5	0,77
Kløvergræshø	11,57	4,22	9,5	1,10
Lucerneensilage, ens. uden tilsætning	11,96	1,93	31,0	3,71
Kløvergræsensilage, ens. uden tilsætning	10,98	1,72	15,8	1,73
Kløvergræsensilage, ens. med 1/1 AIV-syre	11,35	2,05	5,2	0,59
Græsensilage, ens. uden tilsætning	12,48	0,92	21,4	2,67
Græsensilage, ens. med 1/1 AIV-syre	12,02	1,52	4,6	0,55

græs fremstillet uden tilsætning. Fremgangs-
 måden var følgende: Af en findelt og grundigt
 sammenblandet ensilage udvejedes 5 prøver à
 500 g. En af disse prøver benyttedes som kontrol,
 medens de øvrige tilsattes ammonium-
 bisulfat (NH₄HSO₄) eller AIV-syre (2,4 N
 H₂SO₄). Efter grundig indblanding af disse
 stoffer bestemtes tørstof, aske og sand. De ind-
 blendede mængder og analyseresultaterne frem-
 går af tabel 2. Det bemærkes, at alle tal i
 tabellen er angivet i g pr. 100 g ensilage og
 ikke i procent af ensilage + tilsætning.

Det ses, at stigningen i tørstofindhold ret
 nær svarer til den tilsatte mængde salt eller
 syre. At der ikke er fuld overensstemmelse,
 kunne naturligvis tilskrives forsøgsfejl, men den
 væsentligste del af forklaringen må sandsyn-
 ligvis søges i, at syretilsætningen og den deraf
 følgende pH-sænkning kan påvirke såvel tør-

stofnedbrydning som fordampning af flygtige
 syrer under tørringen, (på det tidspunkt, hvor
 forsøgene blev udført, korrigeredes ikke for
 fordampning af flygtige stoffer). Stigningen i
 askeindholdet er derimod langt mindre, således
 at tilsætningen bevirker en betydelig stigning
 i indholdet af organisk stof, hvilket navnlig
 gør sig gældende for ammoniumbisulfat. At de
 tilsatte stoffer i større mængder fordamper ved
 tørringen, må anses for udelukket, hvorimod
 det er mere rimeligt at antage, at syretilsætning-
 en bevirker, at en større eller mindre del af
 askens karbonat erstattes med sulfat, således at
 der, som før berørt, ikke fås så stærk stigning
 i askeindholdet, som der ellers måtte forventes.

Det er sædvanligvis ikke muligt at indføre
 en præcis korrektion for den stigning i mæng-
 den af tørstof, aske og sand, som tilsætning af
 et ensileringsmiddel direkte forårsager, da man

Tabel 2. Virkning af ammoniumbisulfat og svovlsyre på indholdet af tørstof, aske, sand og organisk stof i ensilage

Table 2. Effect of ammoniumhydrogensulphate and sulfuric acid on contents of DM, ash, sand and OM in silage

Tilsætning pr. 100 g ensilage	g pr. 100 g ensilage			
	tørstof DM	aske g per 100 g of silage ash	sand sand	org. stof OM
<i>Added per 100 g of silage</i>				
<i>Roetopensilage (beet-top silage)</i>				
Ingen	14,78	3,34	1,44	11,44
0,5 g NH ₄ HSO ₄	15,35	3,47	1,49	11,88
1,0 g NH ₄ HSO ₄	15,62	3,80	1,52	11,82
3,0 g AIV-syre (0,35 g H ₂ SO ₄)	15,17	3,53	1,49	11,64
6,0 g AIV-syre (0,70 g H ₂ SO ₄)	15,36	3,81	1,53	11,55
<i>Græsensilage (grass silage)</i>				
Ingen	25,75	3,61	1,14	22,14
1,0 g NH ₄ HSO ₄	26,93	4,05	1,26	22,88
2,0 g NH ₄ HSO ₄	27,36	4,17	1,22	23,19
3,0 g AIV-syre (0,35 g H ₂ SO ₄)	26,05	3,78	1,18	22,27
6,0 g AIV-syre (0,70 g H ₂ SO ₄)	26,22	3,95	1,22	22,27

ikke uden særlige undersøgelser kan beregne, hvor stor stigning, det tilsatte stof vil bevirke. Man kan også diskutere, om man ved undersøgelser, hvor midlerne som i det refererede forsøg tilsættes en færdiggøret ensilage, vil opnå samme resultat, som hvis midlerne tilsættes ved nedlægningen. Endelig kan et eventuelt saftafløb komplicere forholdene en del. Men det må pointeres, at korrektion under en eller anden form er tvingende nødvendig, hvis man vil undgå fatale fejlslutninger, idet et hvilket som helst stof ellers kan vise en betydelig positiv effekt, selv om det overhovedet ikke indvirker på ensileringsprocesserne. Tilsætning af 1 procent ammoniumbisulfat vil således (når der regnes med et tørstofindhold i ensilagen omkring 20 %) forøge ensilagens tørstofindhold med 4–8 procent og indholdet af organisk stof med 2–5 procent, og man vil således uden korrektion finde en betydelig falsk effekt. I forbindelse med alle forsøg, hvor ensileringsmidler skal afprøves, bør derfor udføres undersøgelser over, hvordan midlerne indvirker på analyseresultaterne, og hvert middel kræver sin særlige undersøgelse.

Et særligt problem opstår ved ensilering af afgrøder, der er stærkt forurenede med jord. Det organiske stof vil da også omfatte det i jorden indeholdte organiske stof, og da, som tidligere nævnt, mængden af aske i jord og afgrøde bestemt hver for sig er væsentligt højere, end når afgrøde og jord foraskes i blanding, vil man endog finde, at mængden af organisk stof stiger med en værdi, der er væsentligt højere end den i jorden indeholdte mængde organisk stof, ofte er stigningen endda mere end det dobbelte af jordens indhold af organisk stof.

Ensileres uden tilsætningsmiddel vil jordindblandingen formentlig være uden større betydning, fordi de fejl, indblandingen bevirker, antagelig vil være af samme størrelse i afgrøde og ensilage. Ensileres derimod med tilsætning af AIV-syre eller et andet tilsætningsmiddel, bliver forholdene noget komplicerede, idet hverken tørstof eller aske i afgrøde, jord og tilsætningsmiddel er additive størrelser, hvilket således også gælder organisk stof. Iøvrigt vil jordindblanding altid give anledning til en vis fejlvurdering, selv om der foretages en fuldstændig korrektion for jordens påvirkning af

tørstof- og askeprocent, idet indblandingen forårsager, at nævneren i den brøk, hvoraf det procentiske tab beregnes, bliver forøget, hvilket bevirker, at jordindblanding, hvis den forudsættes inaktiv, vil formindske det procentiske tab.

I henhold til foranstående vil det være naturligt, om man for hvert enkelt forsøg undersøger, hvordan ensileringstabet bedst udtrykkes, og hvilke korrektioner der bør benyttes. Men uanset hvor omhyggeligt disse undersøgelser udføres, vil der dog være en betydelig risiko for, at de konstaterede tab bliver behæftede med alvorlige systematiske fejl.

D. Tab af sandfrit tørstof

Tabet af sandfrit tørstof vil sjældent blive benyttet som mål for ensileringstab, men skal dog alligevel omtales her, da det måske i visse tilfælde ville kunne være af interesse at benytte udtrykket som mål for tab, og fordi der knytter sig nogle interessante aspekter til denne størrelse.

Ved sand forstås den del af asken, der forbliver uopløselig ved kogning med 20 % saltsyre. Sand består væsentligst af mineralpartikler fra den indblandede jord. Det viser sig imidlertid, at den sandmængde, der findes ved analysen, udtrykt i procent af den indblandede jord, varierer ret betydeligt med den indblandede mængde jord og er forskellig fra afgrøde til afgrøde (Nørgaard Pedersen 1961). Dette skyldes rimeligvis, at afgrødens aske under foraskningen angriber jordens mineralpartikler, hvorved fås en delvis alkalismeltning, der forårsager, at en vis del af mineralpartiklerne bliver opløselige i saltsyre. Da asken af forskellige afgrøder har meget forskellig alkalitet, bliver den nævnte alkalismeltnings omfang stærkt afhængig af afgrødens art, og da alkalismeltningskapaciteten i alle tilfælde er ret begrænset, får jordmængden betydelig indflydelse på hvor stor procentdel af jordens mineralpartikler, der ved indvirkningen bliver opløselige i saltsyre. Disse problemer er mere indgående diskuteret i før nævnte afhandling, hvor det også er foreslået at indføre begrebet »jordfri

tørstof«, idet afgrødens jordindhold beregnes ud fra sandindholdet ved multiplikation med en fast faktor, karakteristisk for den indblandede jord, og det er vist, at denne beregning kan give en ret tilfredsstillende sikkerhed.

Beregninger af denne art vil især have interesse ved ensilering af stærkt forurenede afgrøder og specielt i forsøg, hvor forureningens betydning for ensileringstabet studeres. Problematikken i sådanne forsøg, der er meget kompliceret, skal ikke her udredes i enkeltheder, blot skal påpeges, at problemerne ved ensilering af stærkt forurenede afgrøder dels er, at en væsentlig del af det ensilerede organiske stof er humus, og dels de før omtalte vanskeligheder ved at udrede, hvad aske- og sandindhold er udtryk for.

Det må understreges, at beregning af jordprocent ud fra sandprocent kun kan foretages med fornøden sikkerhed, hvis den indblandede jord har et lavt humusindhold. Indblanding af humusrig jord vil også gøre de kemiske analyser misvisende. En højmosesjord fra Store Vildmose viste således følgende sammensætning:

	% af tørstof	% af org. stof
Aske	22,04	-
Sand	14,60	-
Råprotein	9,56	12,26
Træstof	17,77	22,79
Kvælstoffri ekstr.+ fedt.	50,63	64,94

Muligheden for en rimelig korrektion for indblanding af større mængder af en sådan jord er meget begrænset, og man bør i almindelighed undgå at udføre ensileringsforsøg med afgrøder, der kan frygtes forurenede med humusjord.

E. Tab af protein

I forbindelse med ensileringsforsøg foretages sædvanligvis bestemmelse af råproteintabet. Siden 1944 har denne tabsbestemmelse således indgået som et fast led i alle ensileringsforsøg udført ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plante-kultur. Meget ofte bestemmes desuden tabet af renprotein.

1. TAB AF RÅPROTEIN

Ved råprotein forstås totalkvælstof $\times 6,25$. Anvendelsen af denne faktor kan give anledning til nogen diskussion, idet den forudsætter, at råproteinets kvælstofindhold er 16 procent. Egentlige proteinstoffer har meget nær dette kvælstofindhold. Amidstoffer har derimod et betydeligt højere kvælstofindhold, asparagin og glutamin indeholder således henholdsvis 21,3 og 19,3 procent. Frie aminosyrer, der findes i betydelige mængder i ensilage, har derimod et kvælstofindhold, der er lavere end 16 procent. Ensilage indeholder endvidere ret store mængder ammoniak, hvis kvælstofindhold er 82,3 procent. Ikke sjældent indeholder afgrøde og ensilage betydelige mængder nitrat. Ofte ønsker man ikke at medregne nitraten til råprotein, og man må da bestemme »nitratfri råprotein«. Ved sædvanlig kvælstofbestemmelse (Kjeldahlanalyse) vil en større eller mindre del (undertiden 100 procent, *Lindhard*, 1963) af nitratkvælstoffet indgå i råproteinkvælstof. Vil man bestemme »nitratfri råprotein«, må man derfor udføre Kjeldahl-analyse på en sådan måde, (reduktion af nitrat til ammoniak f. eks. efter Ulschs metode – *kemiske analysemetoder I*, 1939), at al nitrat indgår i råprotein, hvorefter nitratkvælstof bestemmes ved en særlig analyse, f. eks. den af *Sørensen* (1956) beskrevne, hvorefter »nitratfri råproteinkvælstof« bestemmes som differens.

Det er klart, at hvis man blot tilstræber at få et udtryk for den samlede mængde kvælstofholdige stoffer, er det fuldstændig ligegyldigt, hvilken faktor der anvendes. Mest logisk ville det i så tilfælde være at regne med faktoren 1. Men er hensigten at beregne, hvor store stofmængder, der er bundet i kvælstofholdige forbindelser, må man selvfølgelig tilstræbe at benytte de relevante faktorer.

Råproteintabet kan beregnes som forskellen mellem råprotein i grønt og ensilage. Ofte vil man dog betragte den del af proteinet, der er nedbrudt til ammoniak, som tabt, og råproteintabet beregnes da som råprotein i grønt minus råprotein i ensilage plus ammoniakkvælstof i ensilage gange 6,25. Berettigelsen af den-

ne korrektion kan naturligvis diskuteres, men den er vel oftest berettiget, idet kvægfoderets indhold af amidkvælstof i forvejen er så stort, at der regnes med, at yderligere mængder lavere kvælstofforbindelser kun vil kunne udnyttes dårligt.

Kvælstoftabet vil – ligesom andre tab ved ensilering – kun kunne ske ved saftafløb eller i form af luftformige forbindelser. Indeholder afgrøden nitrat, kan der udvikles kvælstofilter, hvorved kan tabes en del kvælstof. Det kan også tænkes, at der vil kunne ske tab i form af elementært kvælstof, men dette spiller formentlig sjældent nogen større rolle. Endelig kan der tabes kvælstof ved fordampning af ammoniak, men kun i meget stærkt beskadiget ensilage er pH så højt, at denne tabskilde kan antages at spille nogen rolle. Når der bortses fra tab ved saftafløb, skulle der herefter kun sjældent være mulighed for kvælstoftab af nogen betydning. I forsøg udført ved Ødum forsøgsstation (*Nørsgaard Pedersen* 1971), fandtes da også, at selv under eskremt dårlige ensileringsbetingelser var tabene meget små, meget nær af forsøgsfejlenes størrelse.

2. TAB AF RENPROTEIN

I forbindelse med ensileringsforsøg foretages ofte bestemmelse af renproteintabet. Det må her pointeres, at tab af renprotein sædvanligvis ikke repræsenterer et egentligt tab, men blot er et udtryk for nedbrydning til opløselige forbindelser. Hvis denne nedbrydning kun er en hydrolyse til frie aminosyrer, skulle tabet ikke repræsentere nogen egentlig værdiforringelse, idet frie aminosyrer har fuld proteinværdi. Der kan dog måske ikke ses bort fra, at frie aminosyrer i vommen kan være mere udsat for desaminering end renprotein og derved kan få en noget ringere værdi.

Et lavt renproteintab anses sædvanligvis for et bevis for vellykket ensilering, og det er velkendt, at ved tilsætning af syre ved ensileringen reduceres renproteintabet betydeligt, hvilket formentlig væsentligst skyldes, at hydrolysen hæmmes ved lav reaktion.

Imidlertid har det vist sig, at renproteintabet

også kan reduceres ved tilførsel af ilt, hvilket indikerer mikrobiel syntese af protein, som helt eller delvis modsvarer hydrolysen (Nørgaard Pedersen 1971, Nørgaard Pedersen og Witt 1974). Dette illustrerer, at man ikke umiddelbart udfra renproteintabet kan slutte sig til noget som helst vedrørende ensileringsens vellykkethed.

III. TAB AF FODERVÆRDI

A. Indledning

Ved ensileringsforsøg nøjes man ofte med at bestemme tabet af tørstof og/eller organisk stof og råproteintabet. Da der ofte ved ensileringen også sker en forringelse af det konserverede stof, ville det være ønskeligt, om også tabet af foderværdi kunne bestemmes.

Begrebet foderværdi i videste omfang omfatter energetisk værdi, proteinværdi, værdi af mineralstoffer og vitaminer m. m. Det er også af stor betydning, at foderet har en sådan karakter, at det optages i tilstrækkelige mængder, og dette sammen med foderværdien er bestemmende for dets økonomiske værdi som foder. I dette afsnit skal dog med udtrykket foderværdi udelukkende refereres til den energetiske værdi.

For at beregne foderværditabet ved ensilering må foderværdien af såvel grønmasse som ensilage bestemmes, hvilket indebærer, at der må vælges en enhed for foderværdi. Naturligt forekommer det her som enhed at vælge den skandinaviske foderenhed (f.e.), der kan beregnes af formlen

$$(1) \text{ f.e.} = k (1,43 P_f + 1,91 F_f + 1,00 T_f + 1,00 E_f) V,$$

hvor P, F, T og E er foderets indhold af henholdsvis protein (råprotein), fedt, træstof og kvælstoffri ekstraktstoffer, f_P , f_F , f_T og f_E de tilsvarende fordøjelighedskvotienter, k er en konstant, hvis værdi er 1,333 og V er værditallet. For at opnå en enklere fremstilling er her og i det følgende regnet med fordøjelighedskvotienter og ikke, som det er sædvane, fordøjelighedskoefficienter, og *der underfor-*

stås overalt, at der med f.e., indhold o.l. menes pr. kg tørstof.

Formlen (1) er baseret på Kellners stivelsesværdiberegning (1905), dog er Kellners proteinfaktor, 0,94, efter forslag fra Niels Hansson (1913) ændret til 1,43, hvilket bevirker, at omregningsfaktoren, k, bliver 1,333 og ikke 1,430. Endvidere indgår fordøjeligt råprotein i stedet for fordøjeligt renprotein (vedtaget af N.J.F.'s fodermiddelkomité 1960-61, (Eriksson 1961)), hvilket kompenseres ved en ændring af værditallet. Det har været meget diskuteret, vilken værdi proteinet – eller rettere de kvælstofholdige stoffer – rettelig bør tillægges ved den energetiske foderværdiberegning. Da dette imidlertid er uden væsentlig betydning for de følgende betragtninger, og en mere indgående diskussion af dette problem iøvrigt ville falde udenfor denne afhandlings rammer, skal spørgsmålet ikke omtales nærmere.

Problemet bliver nu, om man ved at anvende formlen (1) på grønmasse og ensilage kan bestemme foderværditabet med en tilfredsstillende sikkerhed.

Dette kan ingenlunde på forhånd anses for givet.

Det må nemlig erindres, at foderenheds-systemet især er udviklet med henblik på vejledning i praktisk fodring, og man kan ikke uden videre gå ud fra, at den sikkerhed, der er tilstrækkeligt for dette formål, også vil være tilstrækkelig til vurdering af konserveringstab. En nærmere undersøgelse af beregningsformlen og dens forudsætninger er derfor vel motiveret.

Beregning af et fodermiddels foderværdi ud fra (1) forudsætter bestemmelse af

- 1) Kemisk sammensætning
- 2) Fordøjeligheden af de enkelte komponenter
- 3) Værdital

Vurdering af formlens egnethed ved tabsbestemmelsen indebærer således en vurdering af, om de enkelte komponenter kan bestemmes

med tilstrækkelig sikkerhed, herunder om de enkelte stofgrupper er tilstrækkeligt entydigt definerede, om de enkelte fordøjelighedscoeffi- cienter kan bestemmes eller fastsættes med for- nøden sikkerhed, om værditallet kan fastlægges med tilstrækkelig sikkerhed og endelig om fak- torerne i parentes (1,43, 1,91, 1,00 og 1,00) kan opfattes som konstante værdier eller må betragtes som statistiske middelværdier. Disse problemer skal omtales i det følgende, og på baggrund heraf vil blive diskuteret, om formel (1) må anses for egnet som basis for vurdering af foderværditab.

B. Den kemiske sammensætning

1. FODERMIDDELANALYSEN

Et fodermiddels kemiske sammensætning i relation til foderværdibestemmelsen er define- ret ved foderanalysen, der omfatter:

1. Tørstof
2. Aske
3. Råprotein
4. Fedt
5. Træstof
6. Kvælstoffri ekstraktstoffer. (Nfe)

Den sidste fraktion, Nfe, bestemmes ikke ved en særlig analyse, men beregnes simpelthen som rest.

Ofte suppleres foderanalysen med bestem- melse af renprotein og forskellige analyser som f. eks. sukker- og sandanalyse og for ensila- gens vedkommende bestemmes ofte organiske syrer, alkohol og ammoniak. De analytiske og definitions-mæssige usikkerheder, der er for- bundet med bestemmelse af aske, sand, råpro- tein og renprotein, er allerede omtalt. I dette afsnit skal omtales de usikkerheder, der knyt- ter sig til bestemmelsen af de øvrige stoffer.

2. FEDT

Ved fedt forstås den i ethylether opløselige del af stoffet. For grovfodermidler er fraktionen kemisk set meget dårligt defineret, da voks- agtige stoffer, forskellige farvestoffer m. m.

udgør en meget væsentlig del. Udtrykket »ether- ekstrakt«, der ofte benyttes i udlandet, må der- for anses for en langt bedre motiveret beteg- nelse. For ensilage gør der sig det forhold gæl- dende, at mælkesyre og forskellige andre stof- fer, som i henhold til deres kemiske natur bur- de henregnes til Nfe, er opløselige i ether. Fedtbestemmelse i ensilage giver derfor ofte et resultat, der er helt uden relation til det op- rindelige grønmateriales fedtindhold. For at imødegå denne vanskelighed er det foreslået at ekstrahere med vand, hvorved mælkesyre fjernes, forud for etherekstraktionen eller at ekstrahere med let flygtig benzin (petroleum- ether) i stedet for ethylether.

3. TRÆSTOF

Ved træstof forstås den del af det organiske stof, der ikke går i opløsning ved en nøje fast- lagt procedure, hvor stoffet koges i 1/2 time med en 1,25 pct. svovlsyreopløsning, derefter ligeledes i en halv time med 1,25 pct. kalium- hydroxid og endeligt udvaskes med kogende vand og fedtopløsende stoffer (se f. eks. *Kemi-*

Tabel 3. Kemisk sammensætning af en høprøve (Nordfeldt, Svanberg og Claesson 1949)
Table 3. Chemical composition of a sample of hay

	% af tørstof % of DM	
Aske	9,25	
Råprotein	14,13	
Fedt	2,80	
Træstof	27,04	
Nfe	46,78	
	% af træstof % of crude fiber	
Råprotein	0,70	0,18
Lignin	11,51	3,01
Cellulose	80,11	20,98
Pentosaner	10,95	2,87
	% af Nfe % of Nfe	
Lignin	9,75	4,56
Cellulose	20,52	9,60
Pentosaner	29,41	13,76
Andre stoffer	40,32	18,86

ske *Analysemetoder I* 1939). Analysen er således en udpræget definitionsanalyse, og den givne analyseforskrift må overholdes nøje, idet man f. eks. ved formindsket eller forlænget kogetid vil få henholdsvis højere eller lavere værdier.

I kemisk henseende udgør træstof ikke en veldefineret gruppe. Undersøgelser af bl. a. Nordfeldt, Svanberg og Claesson (1949) har således vist, at træstof hovedsagelig består af cellulose, pentosaner og lignin, og at en betydelig del af alle disse stofgrupper går i opløsning ved træstofbestemmelsen og dermed bliver henregnet til Nfe. Eksempelvis gav analyse af en høprøve det i tabel 3 viste resultat. Ud fra tabellen kan beregnes, at i dette tilfælde indgår af de tre stofgrupper cellulose, pentosaner og lignin henholdsvis 68,6, 17,3 og 39,8 procent i træstoffet og resten i Nfe. Endvidere fandtes træstoffets kemiske sammensætning at variere stærkt fra fodermiddel til fodermiddel (tabel 4), idet cellulose dog altid udgør den største del.

tyndet saltsyre, hvorefter de opløste kulhydrater beregnes som stivelse. De tungere opløselige stoffer bestemmes som differens og betegnes som »rest«. Ved fordøjelighedsforsøg viste A. C. Andersens »stivelse« sig at være 100 procent fordøjeligt. Umiddelbart synes metoden at have fordele, men den vandt dog ingen udbredelse, bl. a. fordi det viste sig, at foderets fordøjelighed ikke viste bedre sammenhæng med indholdet af »stivelse« end med indholdet af træstof. Der er også den iøjnefaldende mangel ved metoden, at kun monosakkarider og stoffer, der kan hydrolyseres til monosakkarider, indgår i »stivelse«, medens andre letopløselige kvælstoffri stoffer, som f. eks. organiske syrer både dem, der findes i det friske plantemateriale, og dem, der dannes under ensileringen, og som må regnes at være let fordøjelige, vil blive henregnet til den tungtomsættelige rest.

Den ret vilkårlige definition af begrebet træstof fremgår også deraf, at hvis man underkaster samme analyseprøve successive træstof-

Tabel 4. Træstoffets kemiske sammensætning i forskellige fodermidler (Nordfeldt, Svanberg og Claesson 1949)

Table 4. Chemical composition of crude fiber in various feeds

% af træstof: % of crude fiber	Hø Hay	Havreklid Oatbran	Klid Bran	Oliekage Oilcake	Byg Barley	Havre Oats
Cellulose	80,11	83,75	72,54	70,11	82,75	79,91
Pentosaner	10,95	11,56	5,85	12,65	9,25	12,67
Lignin	11,51	7,01	20,76	14,09	8,95	6,87
Råprotein	0,70	0,33	0,85	3,15	0,67	0,55

Træstof må opfattes som et empirisk udtryk for den tungest omsættelige del af et foderstofs kvælstoffrie stoffer, og i foderanalysen beregnes den lettest omsættelige del (Nfe) som differens. Man kunne imidlertid gå den modsatte vej og bestemme de lettest omsættelige stoffer direkte og de tungtomsættelige som differens. En sådan metode er foreslået af A. C. Andersen (1934). Efter Andersens metode hydrolyseres først med diastase og derefter med for-

bestemmelser, vil en stadig stigende del gå i opløsning, d.v.s., at man vil finde, at »træstof« indeholder en ret betydelig mængde Nfe. Dette er illustreret i tabel 5.

På grund af træstoffanalysens åbenbare mangler har der været fremsat mange forslag til at erstatte den med andre analyser, f. eks. bestemmelse af lignin, cellulose, pentosaner m. m. En del af disse metoder vil blive omtalt i et senere afsnit.

Tabel 5. Procent træstof i kløvergræs ved gentagen træstofbestemmelse
Analyser ved Ødum forsøgsstation 1969

Table 5. Per cent crude fiber in clover grass at repeated crude fiber determination

	% træstof % crude fiber	% Nfe i træstof % Nfe in crude fiber
Normal træstofbestemmelse	21,3	0
Træstofbestemmelse gentaget 1 gang	18,7	12,2
Træstofbestemmelse gentaget 2 gange	17,3	18,8
Træstofbestemmelse gentaget 3 gange	15,7	26,3
Træstofbestemmelse gentaget 4 gange	13,9	34,7

4. KVÆLSTOFFRI EKSTRAKTSTOFFER, Nfe

Nfe er en meget heterogen stofgruppe. De stoffer, som indgår i denne gruppe, har egentlig kun det tilfælles, at de ved analysen ikke er bestemt som hørende til nogen af de tidligere nævnte grupper. I Nfe indgår bl. a. organiske syrer, sukkerarter, stivelse og, som nævnt i foregående afsnit, en betydelig del af fodermidlets indhold af cellulose, lignin og pentosaner. Vil man undgå grove fejltagelser med hensyn til, hvad fraktionen omfatter, er det imidlertid nødvendigt, at man helt klart holder sig for øje, at definitionen af Nfe er givet ved ligningen

$$(2) \% Nfe = 100 - (\% aske + \% råprotein + \% fedt + \% træstof),$$

idet dette betyder, at alle fodermiddelanalysens usikkerheder – både principielle og tilfældige – indgår i Nfe.

De principielle usikkerheder er allerede omtalt i det foregående, men her skal de dog kort resumeres, og deres konsekvens for bestemmelsen af Nfe skal præciseres.

1) Askeindholdet må formodes sædvanligvis at være højere end mineralstofindholdet. Dette medfører, at en del af de organiske bestanddele ikke medregnes i organisk stof og altså heller ikke i Nfe.

2) En del af mælkesyren indgår i fedt, hvorved Nfe-fraktionen bliver mindre.

3) Træstof indeholder små mængder protein. Ved bestemmelse af Nfe bliver denne stofmængde fradraget to gange, først som en del

af proteinet og dernæst som en del af træstoffet.

4) Råprotein beregnes ved multiplikation med 6,25. Er denne faktor for høj eller for lav, vil dette påvirke Nfe i henholdsvis negativ eller positiv retning.

5) Ca. 80 procent af de flygtige syrer i ensilage fordamper ved tørstofbestemmelsen. Foretages ikke korrektion for dette forhold, vil kun resten, ca. 20 procent, indgå i Nfe.

6) Alkohol fordamper kvantitativt ved tørstofbestemmelsen. Foretages ikke korrektion for dette forhold, vil alkohol overhovedet ikke indgå i Nfe.

Til disse usikkerheder kommer, at der ofte (altid?) ved tørringen sker et tørstofftab – udover fordampning af flygtige stoffer – hvilket vil formindske Nfe en del, da det må formodes, at det hovedsagelig er letopløselige kvælstoffri stoffer, der nedbrydes.

C. Fordøjelighedskvotienterne

1. METODER TIL BESTEMMELSE AF FORDØJELIGHED

De i formel (1) indgående fordøjelighedskvotienter kan frembringes på flere forskellige måder.

a) Fordøjeligheden bestemmes ved hjælp af dyr – kvæg eller får. Ved denne metode kan fordøjeligheden af alle foderets komponenter bestemmes.

b) Fordøjeligheden kan også bestemmes ved

den såkaldte »in vitro« metode. Ved denne metode vil sædvanligvis kun fordøjeligheden af organisk stof og eventuelt råprotein blive bestemt.

c) Fordøjeligheden beregnes ud fra afgrødens eller ensilagens kemiske sammensætning.

d) Fordøjeligheden fastlægges ved sammenligning med tilsvarende afgrøder og ensilage.

Efter forfatterens opfattelse er der ingen principiel forskel på metoderne b og c, hvorfor det forekommer uheldigt, at de værdier, der bestemmes ved in vitro metoder, ofte betegnes som in-vitro fordøjelighedskoefficienter eller endog blot fordøjelighedskoefficienter, idet dette let kan føre til nogen begrebsforvirring. Det ville derfor være ønskeligt, om man kunne finde en anden betegnelse, f. eks. in vitro opløselighed.

Bestemmelse af fordøjeligheden ved dyreforsøg må umiddelbart anses for den mest tilfredsstillende fremgangsmåde. Men metoden er ret meget arbejdskrævende, og til gennemførelse af bestemmelsen kræves ret store foder-mængder, hvorfor metoden ikke er anvendelig i forbindelse med forsøg i små laboratorie-siloer. Der vil derfor ofte være behov for at bestemme fordøjeligheden ved en anden fremgangsmåde.

I de følgende afsnit gives en redegørelse for definition og betydning af fordøjelighedskvotienten (bestemt ved dyreforsøg, in vivo), og på basis heraf søges klarlagt, hvad fordøjelighedskvotienterne for de enkelte stofgrupper er udtryk for, og anvendeligheden af de andre fremgangsmåder til bestemmelse af fordøjelighed søges vurderet.

2. BESTEMMELSE AF FORDØJELIGHEDEN VED DYREFORSØG

a. Betydningen af fordøjelighed

Man kunne med en vis ret definere, at et stof (kemisk forbindelse), som *kan* passere fordøjelseskanalens epithel og optages i blod eller lymfe, eller som i fordøjelseskanalen, *kan* spaltes i stoffer, som alle *kan* optages i blod eller lymfe, er 100 procent fordøjeligt, og at et stof,

der i fordøjelseskanalen *kan* spaltes til forskellige stoffer, hvoraf a procent *kan* optages i blod eller lymfe, er a procent fordøjeligt.

Om end denne definition kan forekomme rimelig, vil det dog ikke være muligt at måle fodermidlernes relative værdi på dette grundlag. Den væsentligste indvending er, at omsætnings-hastigheden, der er af afgørende betydning for, hvor stor en del af foderet, der faktisk fordøjes, ikke tages i betragtning. Begrebet fordøjelighed må derfor defineres på anden vis.

Før vi går ind på en nærmere betragtning af andre måder, hvorpå fordøjelighed kan defineres, skal det præciseres, at det foder, som drøvtyggerne optager, kan forlade fordøjelseskanalen ad forskellige veje:

1. Optages i blodet
2. Udskilles med gødningen
3. Udskilles i luftform (CO₂, CH₄ etc.).

Fysiologisk set er kun en del af stoffet, der optages i blodet, fordøjet. Eftersom det kun er denne del af foderet, der kan tjene dyret til ernæring, ville det være naturligt, om foderet vurderedes ud fra den *fysiologiske fordøjelighed*. Imidlertid kræver bestemmelse heraf en meget kompliceret forsøgsteknik.

Almindeligt tales – med et noget misvisende udtryk – om *den sande fordøjelighed*. Forskellen på den sande og den fysiologiske fordøjelighed er, at også den del af stoffet, der udskilles i luftform, regnes fordøjet. Eksakt bestemmelse af den sande fordøjelighed er ligeledes meget kompliceret.

Den fysiologiske og den sande fordøjelighed er afhængig af egenskaber hos såvel foder som dyr, og vil variere noget fra dyr til dyr.

Det er vigtigt at bemærke, at det afgørende ikke er, om et stof *kan* fordøjes, men om det faktisk sker. Den hastighed, hvormed et stof omsættes, får hermed indflydelse på fordøjeligheden. Da der ved fordøjelsen indgår en tidsfaktor, vil også forhold, der indvirker på den hastighed, hvormed foderet passerer fordøjelseskanalen, f. eks. foder-mængden, indvirke på den fysiologiske fordøjelighed. Disse problemer vil blive berørt i næste afsnit.

b. Den eksperimentelle betydning af fordøjelighed

Ved fordøjeligt næringsstof forstås i fordøjelighedsforsøget differencen mellem næringsstof i foder og næringsstof i gødning. Fordøjeligheden udtrykkes kvantitativt ved fordøjeligheds-koefficienten eller – som det her foretrækkes – ved fordøjelighedskvotienten (f), defineret ved

$$(3) \quad f = \frac{\text{næringsstof i foder} \div \text{næringsstof i gødning}}{\text{næringsstof i foder}}$$

Den eksperimentelle og den sande fordøjelighed er ikke identiske, idet gødningen indeholder større eller mindre mængder stof, der ikke stammer fra det fortærede foder, såsom afstødt tarmepitel, fordøjelsessekreter etc. (»stofskiftestof«). For at skelne mellem de to begreber betegnes den eksperimentelt bestemte fordøjelighed ofte som »tilsyneladende fordøjelighed«.

Den sande fordøjelighedskvotient er defineret ved

$$(4) \quad f = \frac{\text{næringsstof i foder} \div (\text{næringsstof i gødning} \div \text{næringsstof i stofskiftestof})}{\text{næringsstof i foder}}$$

Et særligt problem er det, at fordøjeligheden – både den sande og den tilsyneladende – som allerede berørt i forrige afsnit, er afhængig af forskellige faktorer. Fodringsintensiteten spiller således en ret betydelig rolle, idet fordøjeligheden er faldende med stigende foder-mængde, hvilket formentlig skyldes, at passagehastigheden gennem fordøjelseskanalen forøges (Raymond, Harris and Kemp 1955, Raymond, Minson and Harris 1959). Også foderets fysiske struktur påvirker fordøjeligheden. Ved stærk findeling af hø o. l. falder fordøjeligheden således, hvilket også kan tilskrives en større passagehastighed (Minson 1966, Demarquilly and Journet 1967, Hinders og Owen 1968). Endvidere er der individuelle forskelle mellem forsøgsdyr, bl. a. betinget af alder (Raymond, Harris and Kemp 1954) og sundhedstilstand (Spedding 1954). Fordøjeligheden bestemt med

henholdsvis får og kvæg som forsøgsdyr er heller ikke helt ens, om end forskellen er så ringe, at det ikke er af større betydning (Nørgaard Pedersen, Højland Frederiksen, Skovborg, Møller og Witt 1971).

Da det selvfølgelig er hensigten, at fordøjeligheds-koefficienten skal være et så entydigt mål for foderets værdi som muligt, er det vigtigt, at fordøjelighedsforsøg udføres under standar-

diserede betingelser, således at de ovennævnte påvirkninger kommer til at spille en så lille rolle som muligt. D.v.s., at fodringsintensiteten bør være nogenlunde præcis defineret, og som regel foretrækkes at udføre forsøgene med en foder-mængde lidt under vedligeholdsniveau, at foderets struktur ikke ændres væsentligt fra den struktur, det ville have ved praktisk fodring, og at der ikke benyttes atypiske dyr.

3. BESTEMMELSE AF DE ENKELTE FORDØJELIGHEDSKVOTIENTER

a. Fordøjeligheden af det organiske stof

Fordøjelighedskvotienten for organisk stof indgår ikke i beregningsformlen (1) men bestemmes altid ved fordøjelighedsforsøg og kan betragtes som et summarisk udtryk for foderets fordøjelighed. Denne kvotient kan bestemmes med god sikkerhed, idet den, når der ses bort fra forsøgstekniske vanskeligheder ved at bestemme foderets og gødningens mængde, kun påvirkes af usikkerheder ved tørstof- og askebestemmelsen. En forudsætning for et rigtigt resultat er det naturligtvis, at al organisk stof medregnes (flygtige syrer og alkohol).

Det er allerede tidligere omtalt, at det kan diskuteres, om aske er et korrekt udtryk for mineralstofindhold, hvorfor det også kan diskuteres, om den faktiske mængde organisk stof

kan beregnes eksakt som differens mellem tørstof og aske. Ved afgrøder, der er stærkt forurenede med jord, opstår en række problemer, idet det ikke er muligt at skelne mellem afgrødens og den indblandede jords organiske stof. Selv om det antages, at den indblandede jord slet ikke påvirker fordøjeligheden af afgrødens organiske stof og at det i jorden indeholdte organiske stof ikke påvirkes ved passagen gennem dyret, vil man dog finde en aftagende fordøjelighed med stigende jordindblanding, fordi nævneren i beregningsformlen (3) bliver større, medens tælleren bliver uforandret. Jordindblandingen komplicerer imidlertid forholdene endnu mere, end man umiddelbart ud fra de nævnte enkle forudsætninger kan forudse, idet det er vanskeligt at bedømme den indblandede jords indflydelse på såvel afgrødens som gødningens indhold af aske (sml. side 564-568). Jordindblanding har vist en depressiv virkning på fordøjelighedscoeffcienten for organisk stof (Jarl 1949, Frederiksen 1969), men det skal her pointeres, at man ikke umiddelbart heraf kan slutte noget om jordindblandings skadelighed. Ønsker man at vurdere, hvor meget jordindblanding forringer foderets værdi, må fordøjelighedsforsøgene udføres på en sådan måde, at det bliver muligt at skelne skarpt mellem jordindblandings fysiologiske virkning og dens direkte indvirkning på de beregnede mængder organisk stof i henholdsvis foder og gødning, hvilket er en opgave, der vanskeligt eller måske slet ikke lader sig løse.

b. Fordøjeligheden af protein, fedt, træstof og Nfe

Ved fordøjelighedsforsøg bestemmes sædvanligvis fordøjeligheden af hver af de ovennævnte stofgrupper.

Der kan imidlertid rejses adskillige indvendinger mod beregning og anvendelse af disse partielle fordøjelighedskvotienter. For det første er det som tidligere påvist (side 571-573) tvivlsomt, om stofgrupperne i almindelighed kan defineres og bestemmes med en blot nogenlunde tilfredsstillende sikkerhed. For det andet kan der i fordøjelighedskanalen ske så-

danne omsætninger, at fordøjelighedskvotienterne får en helt anden betydning, end man umiddelbart vil tillægge dem. Forudsætningen for, at de partielle fordøjelighedskvotienter kan have en klart defineret mening, må jo i virkeligheden være, at de enkelte stofgrupper fordøjes uafhængigt af hinanden, således at den del af en stofgruppe, der ikke fordøjes, også i gødningen bliver bestemt som hørende til vedkommende stofgruppe. Men der er absolut ingen rimelig grund til at formode, at dette er tilfældet, tværtimod må man regne med betydelige overgange imellem grupperne. For proteinets vedkommende indledes således fordøjelsen sædvanligvis med, at en meget betydelig del desamineres (Eriksson 1961). Den herved dannede ammoniak kan enten indgå i vombakteriernes stofskifte og opbygges til bakterieprotein, eller det kan optages i blodet. I det sidste tilfælde er proteinet eksperimentelt set fordøjet, uanset hvad der sker med den kvælstoffrie rest. Det ville derfor være mere korrekt at tale om kvælstoffets fordøjelighed end om proteinets. Ved bestemmelse af renproteinets fordøjelighed har man det forhold, at blot renproteinet i fordøjelsiskanalen hydrolyseres til frie aminosyrer, er det eksperimentelt set fordøjet. En modsat effekt har man, hvis frie aminosyrer, amider eller ammoniak syntetiseres til bakterieprotein, i fald dette udskilles med gødningen.

Mellem de to grupper, træstof og Nfe, er der et meget kompliceret sammenspil. Træstof består, som det ses af tabel 3, hovedsagelig af lignin, cellulose og pentosaner. Ud fra tabel 3 kan det imidlertid beregnes, at ca. $\frac{1}{3}$ af den samlede mængde af disse stoffer indgår i gruppen Nfe, og der er således ikke noget skarpt skel mellem træstof og Nfe. Denne sidste gruppe består herefter dels af stoffer, der kemisk set er identisk med træstof og derfor må antages at være ret tungt fordøjelige, og dels af letopløselige, letfordøjelige stoffer som sukker, organiske syrer m. m. Heraf følger, at jo større del træstof udgør af den samlede mængde råkulhydrat (= træstof + Nfe), jo større del af Nfe udgøres af lignin, cellulose og pentosaner, og jo lavere må fordøjeligheden af fraktionen

formodes at være. Det kan således forudses, at fordøjelighedskvotienten for Nfe er negativt korreleret med foderets træstofindhold, som det er påvist af bl. a. *Frederiksen* (1969). Denne tendens forstærkes af, at fordøjeligheden af den samlede mængde lignin, cellulose og pentosaner er stærkt faldende med stigende træstofindhold, idet fordøjeligheden af træstof ligeledes er stærkt negativt korreleret med foderets træstofindhold, som det også er vist af bl. a. *Frederiksen*.

Er foderets træstofindhold højt, er det ikke ualmindeligt, at man finder, at træstoffet er lettere fordøjeligt end Nfe (se f. eks. *Møller, Frederiksen og Witt* 1973). Dette resultat, der umiddelbart forekommer absurd, kan forklares, hvis det antages, at den delvise fordøjelse af lignin, cellulose og pentosaner medfører, at disse stoffers opløselighed ved træstofanalysen forøges¹⁾, idet en relativt større del af gødningens end af foderets indhold af nævnte stoffer da vil indgå i Nfe. Indeholder foderet eksempelvis overhovedet ikke andre kvælstoffrie stoffer end lignin, cellulose og pentosaner, og fordøjeligheden af disse stoffer forudsættes at være 50 pct., vil man, hvis det antages, at 30 og 35 pct. af henholdsvis foderets og gødningens indhold af stofferne opløses ved træstofanalysen, finde, at fordøjelighedskvotienterne for træstof og Nfe bliver 0,536 og 0,417!

At fordøjeligheden af træstof findes højere end fordøjeligheden af Nfe kan også henføres til, at der ikke ved træstofanalysen opnås en skarp opdeling i letfordøjelige, tungt fordøjelige og ufordøjelige stoffer, og at alle fejl i foderanalysen påvirker Nfe (*Deinum* 1974).

Foranstående fører uvægerligt til den konklusion, at det er helt uklart, hvad de partielle fordøjelighedskvotienter egentlig er udtryk for. Specielt vil det være meget betænkeligt, om de betragtes som mål for definerede stofgrupperes fordøjelighed, hvilket vel navnlig gælder fordøjelighedskvotienterne for træstof og Nfe.

Noget lignende synspunkter er fremført af *Paloheimo* (1961 og 1964).

Med det meget komplicerede sammenspil, der er mellem de partielle fordøjelighedskvotienter, forekommer det forfatteren helt urealistisk at betragte dem som andet end matematiske regnestørrelser, der benyttes ved foderværdiberegningen. Om de så i denne henseende er særlig nyttige er et andet problem, som senere skal diskuteres.

4. BESTEMMELSE AF FORDØJELIGHED VED LABORATORIEMETODER

a. Relationen mellem den tilsyneladende og den sande fordøjelighedskvotient

Princippet i alle laboratoriemetoder til bestemmelse af fordøjelighed er, at stoffet underkastes en kemisk, enzymatisk eller biologisk nedbrydning eller kombinationer heraf. Den del af stoffet, der er eller ved behandlingen bliver opløselig i vand eller går bort i luftform, betragtes som fordøjeligt. Bestemmelserne påvirkes således ikke af sekreter m. m. fra fordøjelseskana-len, og det er således principielt den sande fordøjelighed, der estimeres. Det er derfor vigtigt at undersøge hvilken relation, der må forventes at være mellem den tilsyneladende og den sande fordøjelighedskvotient.

Med den betydning, der i henhold til foregående afsnit kan tillægges fordøjelighedskvotienterne for fedt, træstof og Nfe, synes det kun relevant at diskutere relationen mellem de tilsyneladende og sande fordøjelighedskvotienter for organisk stof og protein (rettere: N).

For organisk stof kan af ligningerne (3) og (4) udledes, at relationen er givet ved

$$(5) \quad f_{Os} = f^*_{Os} \div \frac{Os_T}{Os}$$

hvor f_{Os} og f^*_{Os} er henholdsvis den tilsyneladende og den sande fordøjelighedskvotient for organisk stof, Os_T organisk stof i gødning stammende fra tarmepithel m. v. og Os organisk stof i foder. Ifølge *Deinum* (1974) er værdien af brøken Os_T/Os ca. 0,13 og f_{Os} vil således have en værdi ca. 0,13 lavere end f^*_{Os} .

For proteinets vedkommende er forholdet et helt andet. I analogi med (5) fås

1) Det forekommer at være en rimelig hypotese, at dette er tilfældet, da det må formodes, at fordøjelsesprocesserne medfører en formindskelse af den gennemsnitlige størrelse af molekylkæderne.

$$(6) \quad f_P = f^*_P \div \frac{P_T}{P}$$

hvor f_P og f^*_P er henholdsvis den tilsyneladende og den sande fordøjelighedskvotient for protein, P_T protein i gødning stammende fra tarmepithel m. v. og P protein i foder. Ifølge *Møllgaard* (1949) kan P_T betragtes som en næsten konstant størrelse (ca. 0,028), idet mængden af stofskifteprotein kan regnes omtrent proportional med tørstofmængden i foder, og f_P vil således for fodermidler med samme sande fordøjelighed for protein (samme værdi af f^*_P) være en hyperbelfunktion af proteinindholdet.

(6) kan konverteres til en retlineær funktion ved multiplikation med P . Man får

$$(7) \quad Pf_P = Pf^*_P \div P_T$$

Af (7) ses, at hvis f^*_P er en konstant størrelse, vil den tilsyneladende mængde fordøjeligt protein være retlineært bestemt af proteinindholdet og regressionskoefficienten vil være f^*_P og konstantleddet $\div P_T$.

Det er af mange forskere påvist, at en ligning af formen (7) har en ret almen gyldighed (*Dijkstra* 1954, *Holter* og *Reid* 1959, *Kivimäe* 1959, *Dijkstra* og *Dirven* 1962, *Frederiksen* 1964 og 1969, *Møller*, *Frederiksen* og *Witt* 1973, *Nørgaard Pedersen* og *Møller*, 1976).

Som eksempel på sammenligningen mellem indhold af total råprotein og fordøjeligt råprotein er i tabel 6 vist nogle af de af *Møller*, *Frederiksen* og *Witt* fundne ligninger.

Det bemærkes, at disse ligninger er i god overensstemmelse med de af de øvrige forskere fundne ligninger (en del af disse er refereret af *Frederiksen* 1964 og 1969).

(7) er ensbetydende med, at den tilsyneladende fordøjelighedskvotient for råprotein ikke er et udtryk for proteinkvalitet, men et blandet udtryk for kvalitet og kvantitet. Derimod må den sande fordøjelighedskvotient, der kan estimeres ved (7), betragtes som et kvalitetsmål.

Spredningen om regressionslinierne er sædvanligvis ret beskeden. Spredningen kan henføres dels til tilfældigheder og dels til virkelige forskelle i proteinkvalitet. Da den tilfældige variation erfaringsmæssigt er temmelig stor, indses det, at der ikke kan være tale om meget store forskelle i proteinkvalitet. *Frederiksen* (1969) mener da også, at fordøjeligt råprotein ofte kan bestemmes med tilstrækkelig sikkerhed ud fra råproteinindholdet. Det bør dog ikke overses, at dette principielt indebærer, at der regnes med, at variationen i proteinkvalitet er ubetydelig, og fremgangsmåden er derfor ikke anvendelig i forsøg, hvor en eventuel forskel i proteinkvalitet (f. eks. proteinkvalitet i afgrøde og ensilage) ønskes bestemt (*Nørgaard Pedersen* og *Witt* 1974, 1975). Man må i så fald estimere den sande fordøjelighedskvotient, enten ud fra en »standardligning« af formen (7) eller – hvis materialet er tilstrækkeligt omfattende – ved regressionsanalyse.

Tabel 6. Relationen mellem procentisk indhold af råprotein (x) og fordøjeligt råprotein (y) i forskellige græsser. Beregningerne er i begge år, for hver græsart baseret på 51 enkeltresultater og totalligningerne således hver på 204 enkeltresultater. Efter *Møller*, *Frederiksen* og *Witt* 1973

Table 6. The relationship between contents of crude protein (x) and apparent digestible crude protein (y). The calculations are in both years for each grass species based on 51 individual results and thus the gross equation on 204 individual results.

Brugsår	1966		1967	
	Ligning	r	Ligning	r
Alm. rajrgræs <i>Per ryegr.</i>	Y = ÷ 3,21 + 0,95 x 0,99		Y = ÷ 3,44 + 0,94 x 0,99	
Engsvingel <i>Mead. fesc.</i>	Y = ÷ 3,64 + 0,97 x 0,99		Y = ÷ 3,54 + 0,94 x 0,99	
Timothe <i>Timothy</i>	Y = ÷ 3,77 + 0,98 x 0,99		Y = ÷ 3,31 + 0,93 x 0,99	
Hundegræs <i>Cocksfoot</i>	Y = ÷ 3,61 + 0,93 x 0,99		Y = ÷ 3,64 + 0,92 x 0,99	
Total lign. <i>Gross eq.</i>	Y = ÷ 3,54 + 0,95 x 0,99		Y = ÷ 3,49 + 0,94 x 0,99	

b. *Bestemmelse af fordøjeligt organisk stof ved »in vitro« metoden*

I løbet af de sidste ca. 20 år er der udviklet metoder til laboratoriemæssig estimering af fordøjeligheden af organisk stof (*Louw, Williams og Mayword 1949, Tilley, Deriaz og Terry 1960, Tilley og Terry 1963*). Princippet i den nu almindelig anvendte metode (*Frederiksen 1964*) er, at en foderprøve, der er af samme størrelse som prøver til almindelige kemiske analyser, opslemmes i en stødpudeopløsning, der podes med vomvædske fra en ko, hvorpå opslemningen henstilles under anaerobe forhold i termostat ved 38–39°C i 48 timer. Efter denne biologiske nedbrydning behandles med pepsin-saltsyre ligeledes i 48 timer ved 38–39°C, hvorefter det uopløste organiske stof bestemmes, og resten, der betragtes som fordøjeligt, beregnes som differens. Som oftest estimeres ved in vitro metoden kun fordøjeligheden af organisk stof, men principielt kan fordøjeligheden af et vilkårligt stof estimeres.

Som nævnt betragtes alle stoffer, der går i opløsning ved in vitro metoden, som fordøjelige. Når der er tale om almindelige fodermidler, herunder ensilage, medfører denne betragtning formodentlig ingen uheldige konsekvenser. Men underkastes fodermidlet en kemisk behandling (f. eks. lutning af halm), kan der ikke ses bort fra, at der muligvis kan dannes opløselige stoffer, der ikke er fordøjelige.

De resultater, der opnås ved in vitro metoden, er påvirket af den anvendte teknik (prøvens findelingsgrad m. m.). Generende er det dog især, at vomvædske ikke er et standardpræparat, men af vekslende aktivitet. For så vidt muligt at eliminere indflydelsen af forskelle i aktivitet anbefales det, at der i hver analyseserie indgår en prøve med kendt in vivo fordøjelighed som standard (*Frederiksen 1964*). En stor fordel ville det utvivlsomt være, om in vitro bestemmelsen kunne udføres ved hjælp af en defineret bakteriestamme i renkultur eller en blanding af renkulturer, og erstatning af vomvædske med en renkultur af cellytiske bakterier er da også allerede forsøgt (*Dehority, Scott og Johnson 1968*).

Ved in vitro metoden tilstræbes at efterligne de naturlige fordøjelsesprocesser i dyrenes fordøjelseskanal. Imidlertid er det meget vanskeligt at efterligne de forhold, der hersker i fordøjelseskanalen, og in vitro metoden får derfor samme empiriske karakter som andre laboratoriemæssige estimeringer af fordøjelighed. Det er derfor, som tidligere fremhævet, vigtigt, at metoden ligesom andre metoder vurderes ved sin kvalitet, der må måles overfor in vivo fordøjelighed.

c. *Bestemmelse af fordøjeligheden af organisk stof ud fra kemiske analyser*

Mange forskere har søgt at finde udtryk for en afgrødes fordøjelighed ud fra kemiske analyser. Træstofindholdet er ofte brugt som mål for fordøjeligheden af organisk stof, men også indholdet af mange andre stoffer, f. eks. cellulose, lignin, protein, har været brugt som mål. Bl. a. *Homb (1953), Kiwimäe (1959), Frederiksen (1964 og 1969) og Møller, Frederiksen og Witt (1973), Witt og Nørgaard Pedersen, 1975 a*), har beregnet korrelationen mellem afgrødernes indhold af forskellige stoffer og deres fordøjelighed. Resultaterne skal ikke her refereres i enkeltheder, blot bemærkes, at alle forskere fandt sikker korrelation mellem træstofindhold og fordøjelighed, men spredningen om regressionskurverne var meget stor, hvorved regressionernes værdi reduceres betydeligt. Værdien af regressionerne forringes også deraf, at sammenhængen er forskellig fra afgrøde til afgrøde og fra slæt til slæt. Endvidere fandt de, at flere andre stofgrupper var ligeså gode eller næsten ligeså gode kriterier for en afgrødes fordøjelighed som træstofindholdet, men at ingen var egentlig tilfredsstillende.

Der har været foreslået en del analyser til karakterisering af et fodermiddels kvalitet (sml. også side 20), med henblik på at nå frem til enten en forenkling af analysemetoderne eller en forbedret beskrivelse af foderkvalitet.

Som eksempel på forenkledte metoder skal nævnes den af *Walker og Hepburn* foreslåede metode, hvorefter afgrødens tungtomsættelige stoffer bestemmes som »normal-acid fibre«.

Metoden er en forenklet træstofanalyse, idet der kun koges med syre. (Metoden beskrevet og diskuteret i *Agricultural Progress*, 1955).

De senere års udvikling har været præget af, at man har søgt at opdele foderets stoffer i forskellige mere eller mindre definerede fraktioner (celleindhold, cellevægsbestanddele, lignin o.s.v.) ved behandling med vand, fortyndede syrer, detergentopløsning eller ethanol, idet behandlingen med alkali ved separationen er helt forladt (*Paloheimo og Paloheimo* 1949, *Paloheimo og Vaino* 1965, *van Soest* 1965). Mest kendt af disse metoder er formentlig det af van Soest udarbejdede analysesystem. Efter denne metode fraktioneres materialet ved behandling med en neutral detergentopløsning i cellevægsmateriale (neutral detergent fibre = NDF) og celleindhold. Endvidere bestemmes tungtomsættelige cellevægsbestanddele ved behandling med sur detergentopløsning (acid detergent fibre = ADF), og i ADF bestemmes lignin (detergent lignin = DL). Ved hjælp af de nævnte variable angiver *van Soest* (1965) fordøjeligheden af tørstof ved den noget komplicerede ligning:

(8) % fordøjeligt tørstof =

$$\left(\% \text{ tørstof} \div \text{NDF} \right) \cdot 0,98 + \text{NDF} \left(1,473 \div 0,789 \cdot \frac{100 \text{ DL}}{\text{ADF}} \right) \div 0,129 \cdot \% \text{ tørstof}$$

Van Soest metode har den svaghed, at det er fordøjeligheden af tørstof og ikke af organisk stof, der estimeres, og at analysemetoden ikke giver nogen mulighed for korrigeret for jordindblanding. Dette forhold er der senere søgt korrigeret for, ved at askeindholdet inddrages i beregningerne (*Deinum og van Soest* 1969).

For alle laboratoriemetoder (også in vitro metoder) gælder, at den betydning, foderets struktur har på fordøjeligheden, ikke kan bestemmes, da man af analytiske grunde må finde analyseprøven stærkt, hvorved en eventuel forskel i struktur elimineres.

d. Sammenligning af laboratoriemetoder til bestemmelse af fordøjelighed

Der er for tiden megen diskussion om hvilke metoder, der må anses for mest hensigtsmæs-

sige til estimering af fodermidlernes fordøjelighed. Der er ikke hidtil opnået nogen egentlig afklaring af problemet, og der vil antagelig gå adskillige år, før en sådan afklaring kan ventes, idet der stadig arbejdes med forbedring af såvel de kemiske som de biologiske metoder.

Problemet skal ikke her diskuteres i enkeltheder, blot skal konstateres, at de fleste forskere bl. a. *Raymond* (1969) konkluderer, at for nærværende opnås det bedste estimat for fordøjeligheden af organisk stof ved in vitro metoden. Det skal dog bemærkes, at undersøgelser ved Ødum omfattende ialt 721 forskellige græsafgrøder ikke bekræfter dette, idet det fandtes, at afgrødens træstofindhold og in vitro fordøjeligheden gav praktisk taget lige sikre estimater for fordøjeligheden af organisk stof og at flere andre estimater for fordøjelighed gav omtrent samme sikkerhed (*Witt og Nørgaard Pedersen*, 1975 a).

Om problematikken vedrørende sammenligning af laboratoriemetoder med in vivo anfører *Raymond* (1969) iøvrigt: »*In fact the stage may be approaching at which little further im-*

provement (af metoderne) can be expected. Interpreting the error terms of these relationships, it is important to recognize that this error does not arise solely from deficiencies in the laboratory technique used (chemical or in vitro) but that errors are also associated with the actual measurements of the in vivo digestibility, and with the fact that digestibility in vivo is not a constant parameter of a particular forage«.

Raymonds betragtning, som utvivlsomt er rigtig, kunne føre til den konklusion, at eftersom in vitro metoden for tiden giver det bedste skøn for fordøjeligheden af organisk stof, og det ikke kan forventes, at et væsentlig bedre skøn kan opnås, kunne man ligeså godt standse udviklingsarbejdet ved in vitro metoden, idet der ikke vil være megen mening med yderligere

udviklingsarbejde, med mindre det kunne føre til en forenkling af metoden.

Denne konklusion er imidlertid baseret på den opfattelse, at man for at vurdere en metode anvendelighed nødvendigvis må sammenligne med in vivo metoder, en opfattelse, der ikke behøver at være rigtig uden modifikationer.

At sammenligningen kun kan foretages med begrænset præcision, er allerede omtalt. Men hertil kommer, at in vivo (og in vitro) fordøjeligheden af organisk stof er et meget summarisk udtryk for foderets værdi. Eksempelvis kan en fordøjelighedskvotient på 0,70 fremkomme, ved at fodet består af ca. 70 % næsten fuldstændigt fordøjeligt stof og ca. 30 % næsten helt ufordøjeligt stof, men kan ligesåvel fremkomme ved, at foderet består af én komponent, hvis fordøjelighed er 0,70.

Ved de kemiske metoder tilstræbes en opdeling af det organiske stof i forskellige fraktioner, og ud fra kendskab til de enkelte fraktioners fordøjelighed søges derefter stoffets fordøjelighed bestemt. Dette betyder i virkeligheden, at man ikke blot forsøger at bestemme fordøjeligheden af organisk stof, men også at forklare hvilke faktorer, der i de aktuelle tilfælde har været bestemmende for den opnåede fordøjelighed. Der kan efter forfatterens opfattelse ikke ses bort fra den mulighed, at man ved yderligere udvikling af de kemiske metoder kan komme frem til et analysesæt, som giver en mere præcis beskrivelse af et fodermiddels egenskaber, end der kan opnås ved gennemførelse af in vivo bestemmelse.

e. *Vurdering af fordøjelighed ved sammenligning med andre tilsvarende afgrøder*

Denne fremgangsmåde benyttes meget i den praktiske fodringsvejledning. Det bør imidlertid ikke overses, at metoden nærmest har karakter af gætteri, og den må anses for helt uanvendelig i forsøg og især i ensileringsforsøg, idet tilsyneladende ens ensilagers fordøjelighed kan variere stærkt. Det skal pointeres, at den i forsøg ikke så sjældent anvendte fremgangsmåde, at en afgrødes foderværdi (kg tørstof

til en foderenhed) ansættes efter art og/eller udviklingstrin principielt indebærer, at såvel fordøjelighed som værdital skønnes, hvilket medfører, at forsøgets resultat delvis er forudbestemt ved forudsætningerne.

D. *Modificerede formler til beregning af foderenheder*

Hvis fordøjeligheden bestemmes in vitro eller estimeres ud fra den kemiske sammensætning, vil det sædvanligvis kun være fordøjeligheden af organisk stof og eventuelt protein, der bestemmes. Naturligvis kan man ved hjælp af regressionsligninger bestemme et udtryk for de partielle fordøjelighedskvotienter ud fra foderets kemiske sammensætning, men disse kvotienter vil blive bestemt med ringe sikkerhed (Frederiksen 1969), og deres betydning er, som før omtalt, problematisk, og hertil kommer, at det, som det vil fremgå af nærværende afsnit, kun har ringe betydning for foderværdibestemmelsen i græsafgrøder, om de partielle fordøjelighedskvotienter kendes eller ikke.

Skal foderværdien bestemmes alene på grundlag af den kemiske sammensætning og fordøjelighedskvotienter for organisk stof og protein, er beregningsformlen (1) ikke umiddelbart anvendelig. Det skal derfor undersøges, om der ud fra (1) kan udledes en passende beregningsformel, og hvor stor afvigelsen mellem f. e. beregnet efter henholdsvis (1) og en udledt (simplificeret) formel vil blive.

Da værdien af konstanten k og værditallet V ikke kan forudsættes at være uforandrede i en udledt formel, skal vi foreløbig nøjes med at betragte parenteser i (1):

$$(9) \quad Q = 1,43 Pf_P + 1,91 Ff_F + 1,00 Tf_T + 1,00 Ef_E.$$

Det ses umiddelbart, at hvis alle koefficienter i (9) var 1,00, ville værdien af Q være lig den samlede mængde fordøjeligt organisk stof. Dette er ensbetydende med, at (9) kan simplificeres til

$$(10) \quad Q = Osf_{Os} + 0,43 Pf_P + 0,91 Ff_F,$$

hvor O_s er mængden af organisk stof og f_{O_s} den tilsvarende fordøjelighedskvotient.

I forbindelse med ensileringsforsøg vil det, som tidligere nævnt, ikke have megen mening at bestemme indholdet af fedt, og sidste led i (10) må derfor erstattes med en skønnet værdi, som naturligt må være en gennemsnitsværdi. I 408 fordøjelighedsforsøg med forskellige græsser udført ved Ødum forsøgsstation var det gennemsnitlige procentiske fedtindhold $4,00 \pm 0,94$, den gennemsnitlige fordøjelighedskoefficient for fedt var lav, $51,9 \pm 10,5$, og følgelig var det gennemsnitlige procentiske indhold af fordøjeligt fedt lavt, $2,10 \pm 0,72$. Substitueres med denne værdi fås:

$$(11) \quad 0,91 Ff_P = 0,019; s = 0,007.$$

Regnes Q at have en værdi omkring 0,70, vil fejlen ved at erstatte $0,91 Ff_P$ med det konstante led 0,019 således sjældent overstige 1 %.

Meget ofte vil heller ikke f_P være kendt, og Pf_P må da substitueres med en passende værdi. Ud fra de samme 408 forsøg, som omtalt ovenfor, har *Møller, Frederiksen og Witt* (1973) beregnet to regressionsligninger hver baseret på 204 værdisæt (tabel 6) over relationen mellem Pf_P og P . Udfra de to ligninger kan dannes »gennemsnitsligningen«

$$(12) \quad Pf_P = \div 0,0352 + 0,945 P.$$

Benyttes den ved (12) bestemte værdi for Pf_P fås

$$(13) \quad 0,43 Pf_P = \div 0,01514 + 0,4064 P.$$

Erstattes i (10) $0,43 Pf_P$ og $0,91 Ff_P$ med de ved (13) og (11) bestemte værdier, fås

$$(14) \quad Q^* = Osf_{O_s} + 0,41 P + 0,004,$$

hvorefter indholdet af foderenheder kan regnes af

$$(15) \quad f.e.* = kV (Osf_{O_s} + 0,41 P + 0,004),$$

hvor k og V har samme værdi som i (1).

Det pointeres, at forskellen mellem $f.e.$ bestemt ved ((1) og $f.e.*$ bestemt ved (15), udelukkende er betinget af afvigelser i proteinets fordøjelighed fra den ved (12) bestemte værdi

og afvigelser i mængden af fordøjeligt fedt fra den benyttede middelværdi 2,10 og vil – vurderet ud fra spredningerne om de nævnte størrelser – sjældent overstige 2 % og, i de fleste tilfælde vil forskellen være langt mindre.

Ved regressionsberegning ud fra de tidligere nævnte 408 forsøg med $f.e.*$ som afhængig og $f.e.$ som uafhængig variabel findes da også (idet V sættes til 0,75):

$$(16) \quad f.e.* = 0,0505 + 0,9353 f.e.$$

$$s = 0,0056 \quad r = 0,997.$$

At den ved (16) bestemte værdi for $f.e.*$ er lavere end værdien af $f.e.$, kan henføres til, at værditallet – der er positivt korreleret med råproteinindholdet, er fikseret til 0,75.

Af (16) fremgår, at det for græsafgrøder og andre afgrøder med et lavt fedtindhold er meget lidt, der kan opnås ved at bestemme de partielle fordøjelighedskvotienter, idet beregning af $f.e.$ alene ud fra indholdet af fordøjeligt organisk stof og råproteinindholdet giver praktisk taget samme resultat.

Selv om der, som det fremgår af (16), er en meget god overensstemmelse mellem $f.e.$ og $f.e.*$, kan der dog rejses indvendinger mod at benytte den simplificerede formel (15) som grundlag for beregning af ensileringsstab, idet (15) indebærer, at mængden af fordøjeligt fedt fikseres til en gennemsnitsværdi, og fordøjelighedskvotienten for protein antages bestemt af proteinmængden. Det første spiller formentlig ikke nogen afgørende rolle, idet tabet af fordøjeligt fedt ved ensileringen antagelig er helt ubetydeligt, og den eventuelle fejl ved at erstatte mængden af fordøjeligt fedt i beregningsformlen med en middelværdi vil således være næsten den samme ved beregning af $f.e.$ i henholdsvis afgrøde og ensilage (der vil være en lille forskel, da der er sket et tab af organisk stof ved ensileringen), og fejlen vil derfor praktisk taget blive elimineret ved tabsberegningen. Derimod er det meget betænkeligt, at formelen forudsætter, at proteinets fordøjelighed udelukkende er bestemt af proteinkoncentrationen, da der ofte sker en betydelig ændring af pro-

teinets fordøjelighed ved ensileringen (Nør-gaard Pedersen og Witt 1974, 1975).

Af (14) fremgår, at værdien af Q i det væsentligste er bestemt af mængden af fordøjeligt organisk stof. I overensstemmelse hermed fandt Ferderiksen (1969), at en afgrødes indhold af foderenheder var stærkt korreleret med indholdet af fordøjeligt organisk stof, og angiver for græsafgrøder følgende formel til beregning af foderenheder ud fra fordøjelighedskoefficienten for organisk stof:

$$(17) \text{ f.e.**} = 1,7 f_{Os} \div 0,42, \\ r = 0,975, \quad s = 0,0282.$$

Ud fra Frederiksens materiale kan udledes, at afgrødens gennemsnitlige indhold af aske i de forsøg, der danner grundlag for (17), har været ca. 11,55 %, hvorefter (17) kan omformes til

$$(18) \text{ f.e.**} = 1,92 \text{ Osf}_{Os} \div 0,42.$$

(18) afviger principielt fra (15) i to henseender. For det første indgår i (18) intet estimat for indholdet af fordøjeligt protein, hvilket reelt betyder, at faktoren 1,43 for fordøjeligt protein er erstattet med faktoren 1,00. Det er således nærmest fedningsfoderenheder, der bestemmes ved (18). For det andet er værditallet i (18) erstattet med ballastfradrag. (Om ballastfradrag se side 26. At (18) principielt er baseret på ballastfradrag ses ved sammenligning med (23)).

E. Værditallet

Ved den eksperimentelle bestemmelse af et foders værdital bestemmes dets indhold af f.e. direkte ved biologiske forsøg. Foderets kemiske sammensætning bestemmes, og i sideløbende fordøjelighedsforsøg fastlægges fordøjelighedskoefficienterne. Ved indsættelse af de fundne værdier i (1) kan værditallet derefter beregnes.

For kraftfodermidler er værditallet ofte meget nær 1,0, medens det for grovfodermidler sædvanligvis er betydeligt lavere. Årsagen til, at grovfodermidler almindeligvis har et lavt

værdital, antages sædvanligvis at være, at foderets grovere struktur bevirker en ringere udnyttelse på grund af forøget fordøjelsesarbejde (se f. eks. Breirem og Homb, 1970), og i forsøg er det da også fundet, at værditallet for hø kan forhøjes ved formaling, men samtidig nedsættes fordøjeligheden. (Blaxter og Graham 1956, Wainman og Blaxter 1972).

Det er imidlertid væsentligt, at man helt gør sig klart, at værditallet simpelthen kan defineres som det tal, som får ligningen (1) til at stemme. D.v.s., at alle egenskaber ved foderet, som ikke er udtrykt ved de variable eller ved konstanterne i ligning (1), må udtrykkes ved værditallet.

De egenskaber ved et fodermiddel, som kan påvirke værditallet, bliver herefter følgende:

1) Større eller mindre nettoeffekt end forudsat på grund af et relativt stort eller lille fordøjelsesarbejde.

2) Større eller mindre nettoeffekt end forudsat på grund af relativt stort eller lille tab ved methangæring etc.

3) Unormal nettoeffekt på grund af indhold af specielle stoffer, som f. eks. giftstoffer.

4) Højere eller lavere energiindhold i stofgrupperne end talkonstanterne (1,43, 1,91, 1,00 og 1,00) er udtryk for.

5) Højere eller lavere næringsstofindhold end foderanalysen viser. Specielt er det vigtigt at bemærke, at hvis der ikke er korrigeret for fordampning af flygtige stoffer ved tørstofbestemmelsen, må hele foderværdien af disse stoffer også udtrykkes ved værditallet.

Det er vel foreløbig urealistisk at forvente, at de under 1), 2) og 3) nævnte effekter kan udtrykkes på anden vis end ved hjælp af et værdital, om end det ville være ønskeligt, om de kunne beskrives uafhængigt af hinanden. Derimod burde de under 4) og 5) nævnte forhold kunne udtrykkes på anden måde, hvilket kort skal omtales i det følgende.

Det har allerede været berørt, at det kan diskuteres, om de fire stofgrupper, der indgår i ligning (1), varierer så lidt i energikoncentration fra fodermiddel til fodermiddel, at det kan anses for rimeligt altid at benytte samme

talkonstanter ved beregningerne. Navnlig for den meget heterogene stofgruppe, Nfe, er det meget tvivlsomt, om dette kan være tilfældet, hvilket er illustreret i tabel 7, der viser bruttoenergiindholdet pr. kg tørstof for nogle af de stoffer, der indgår i denne gruppe.

Tabel 7. Bruttoenergi pr. kg tørstof for nogle stoffer, der indgår i Nfe

Table 7. Gross energy per kg of DM for some compounds that is included in Nfe

		kcal pr. kg
Lignin	<i>Lignin</i>	6-8000
Stivelse, cellulose	<i>Starch, cellul.</i>	ca. 4178
Pentosaner	<i>Pentosanes</i>	ca. 4240
Rørsukker	<i>Sucrose</i>	3943
Monosakkarid	<i>Monosacch.</i>	3736
Æblesyre	<i>Malic ac.</i>	3024
Citronsyre	<i>Citric ac.</i>	2472
Oxalsyre	<i>Oxalic ac.</i>	669
Mælkesyre	<i>Lactic ac.</i>	3619
Eddikesyre	<i>Acetic ac.</i>	3487
Smørsyre	<i>Butyric ac.</i>	5951
Ethanol	<i>Ethanol</i>	7112

Variationen i energiindhold for fraktionens stoffer er, som det ses af tabellen, meget stor, fra under 1000 til over 7000 kcal pr. kg. Det forekommer derfor naturligt at regne med, at mange fodermidler og måske specielt ensilage kan have en sådan sammensætning, at anvendelse af faktoren 1,0 vil være helt urimeligt. Som eksempel skal nævnes, at for kartofler, sukkerroer og kålroer, der hovedsagelig består af henholdsvis stivelse, dissakkarid og monosakkarid*), må man, når Nfe-fraktionen tillægges samme værdi, forvente, at værditalleene må forholde sig omtrent som energiindholdet pr. kg af de nævnte kulhydrater, d.v.s. som 4178 : 3942 : 3736, hvilket forhold er i smuk overensstemmelse med værditalleene i *N.J.F.'s Fodermiddeltabel* (1969), der angives til henholdsvis 85, 80 og 75. Dette forhold er også berørt af *Breirem og Homb* (1970).

De fejl, der er ved bestemmelse af de enkelte

*) Faktisk er kålroernes kemiske sammensætning lidet udforsket.

stofgrupper, må naturligvis også kompenseres ved hjælp af værditallet. Disse fejl er omtalt tidligere, og her skal blot bemærkes, at for ensilage bliver fejlen særlig alvorlig, hvis mælkesyre delvis henregnes til fedtfraktionen.

Der kunne muligvis nævnes flere andre forhold, der er bestemmende for værditallets størrelse. Men ovenstående skønnes tilstrækkeligt til at vise, at det er afhængigt af så mange faktorer, at det er endog meget vanskeligt at afgøre, hvad det i et givet tilfælde er udtryk for, og egentlig kan det kun gælde for netop det fodermiddel, ud fra hvilket det direkte er bestemt.

Imidlertid vil man uanset de mange usikkerhedsmomenter i almindelighed være henvist til at benytte et værdital, som er bestemt ved forsøg med et »tilsvarende« foder.

Specielt i forbindelse med ensileringsforsøg vil det dog være særdeles betænkeligt at anvende denne fremgangsmåde, bl. a. fordi ensilage varierer så stærkt i sammensætning, at det vil være vanskeligt i litteraturen at finde en ensilage, for hvilken værditallet kan anses for »tilsvarende«, og fordi de i litteraturen foreliggende værdital ofte vil være bestemt ved forsøg, hvor der ikke er korrigeret for fordampning af flygtige stoffer ved tørstofbestemmelsen, hvilket bevirker, at værditallet findes for højt, idet værdien af de flygtige stoffer da – som før nævnt – må udtrykkes ved værditallet.

Den største betænkelighed ved at anvende værdital fra litteraturen er dog, at den ensilage, der har været anvendt i forsøgene, oftest er blevet fremstillet efter de samme metoder, der almindeligt blev brugt i praksis. Da den ensilage, der fremstilles i praksis, oftest har lidt betydelig skade (se f. eks. *Olesen, Hedegaard og Hostrup* 1970), er der grund til at formode, at de i litteraturen foreliggende værdital i mange tilfælde er bestemt ud fra ensilager, der er af væsentlig ringere kvalitet end den, man bør tilstræbe, hvorfor det må formodes, at man ved anvendelse af disse værdital vil overvurdere ensileringsstab i de tilfælde, hvor der er anvendt en virkelig god ensileringssteknik.

Det er vigtigt at bemærke, at i forsøg, hvor

formålet er at bestemme ensileringsstabet, er selve værditallets størrelse ikke det afgørende. Det afgørende er, om relationen mellem afgrødens og ensilagens værdital er rigtig. Dette synes at antyde en mulighed for at nå en tilstrækkelig sikker tabsbestemmelse ved at beregne et sæt værdital ud fra henholdsvis afgrødens og ensilagens kemiske sammensætning, hvilken fremgangsmåde også vil have den fordel, at værditalene bestemmes ud fra vedkommende forsøgs egne data.

Frederiksen (1969) angiver, at for henholdsvis græs og kløvergræs kan værditallet beregnes af ligningerne

$$(19) \quad V = 1,095 \div T$$

og

$$(20) \quad V = 1,074 \div T,$$

medens værditallet for ensilage af både kløvergræs og græs kan bestemmes af

$$(21) \quad V = 1,045 \div T.$$

(Det bemærkes, at ligningerne er transformeret til det i denne afhandling anvendte symbolsprog).

Af (19), (20) og (21) fremgår, at man ved anvendelse af disse ligninger konsekvent vil finde lavere værdital for ensilage end for den tilsvarende afgrøde, selv om den kemiske sammensætning er fuldstændig ens. Dette er naturligvis uheldigt, da man derved har forudbestemt, at ensileringen medfører en forringelse af foderet. Antages det f. eks., at ensilagen i de forsøg, der ligger til grund for beregning af (21), ikke har været helt så god kvalitet, som det med en nutidig – eller måske fremtidig – teknik er muligt at opnå, vil man ved anvendelse af formlerne afskære sig fra at registrere virkningen af en forbedret ensilerings teknik.

Det skal nævnes, at det i stedet for at korrigere foderværdien ved hjælp af et værdital undertiden foretrækkes at korrigere ved at fradrage en værdi, der er proportional med foderets indhold af træstof (træstoffradrag, allerede foreslået af Kellner 1905), eller dets indhold

af »ballast«, d.v.s. ufordøjeligt organisk stof (ballastfradrag, Lehmann 1941).

Om korrektion af foderværdien ved hjælp af et værdital beregnet efter (19), (20) eller (21) eller ved træstoffradrag er der at bemærke, at eftersom træstofindholdet i en given afgrøde er en hyperbelfunktion af den i afgrøden indblandede jord, vil korrektionen blive mindre, jo mere forurenede afgrøden er, d.v.s. at den beregnede foderværdi vil stige med forureningsgraden. Dette noget uheldige forhold kan imidlertid undgås, hvis træstofindholdet angives i procent af organisk stof, idet den beregnede foderværdi af det organiske stof da vil være uafhængig af den indblandede mængde jord (der ses her bort fra den betydning, jordindblandingen kan have for mængden af organisk stof).

En afgørende indvending mod at bruge træstoffradrag i forbindelse med ensileringsforsøg er, at der ved ensileringen næsten altid sker en forøgelse af træstofindholdet, ikke blot relativt men også absolut. Dette indikerer, at der ved ensileringsprocessen dannes forbindelser, som ved analysen henregnes til træstof.

Det må formodes, at dette træstof væsentligst hidrører fra mikroorganismernes cellevægge. Dette »mikrobetræstof« er kemisk set meget forskelligt fra »plantetræstof«, idet det ikke indeholder lignin, og det må derfor anses for at være lettere fordøjeligt.

Erstattes værditallet V , i (15) med ballastkorrektion, får foderværdiberegningen en særlig form, idet man da har

$$(22) \quad f.e._B = kOsf_{Os} + 41 kP + 0,004 k \div c B,$$

hvor B er ballast og c en konstant. Da $B = Os \div Osf_{Os}$ kan (22) omskrives til

$$(23) \quad f.e._B = (k + c) Osf_{Os} + 0,41 kP + 0,004 k \div cOs,$$

hvilken ligning, hvis P og Os fikseres, er af samme form som (18).

Det skal sluttelig bemærkes, at eftersom mængden af fordøjeligt organisk stof er stærkt korreleret med træstofindholdet, er der ingen

egentlig principiel forskel på, om korrektionen bestemmes ud fra træstof- eller ballastindhold.

IV. Sammenfattende vurdering af mulighederne for en tilfredsstillende bestemmelse af ensileringsstab ved de traditionel anvendte metoder

Af det foregående fremgår, at bestemmelsen af ensileringsstab frembyder en meget lang række vanskeligheder. Selv om der ved et ensileringsforsøg kun tilstræbes at bestemme tørstof-tabet, vil dette give adskillige vanskeligheder hidrørende fra, at forskellige usikkerheder ved tørstofbestemmelsen ikke har samme indflydelse på tørstofbestemmelsen i afgrøde og ensilage. Vil man bestemme tabet af organisk stof, kommer hertil yderligere en række vanskeligheder, der for en stor del beror på, at askeindholdet ikke kan opfattes som et korrekt udtryk for mineralstofindholdet, hvilket navnlig får betydning, hvis der ved ensileringen er tilsat uorganiske ensileringsmidler, eller afgrøden er stærkt forurennet med jord.

Ønskes tabet af foderenheder bestemt, bliver der endog meget store usikkerheder. Dette beror på en hel række forskellige forhold. For det første vil bestemmelsen af foderværditabet være behæftet med alle de usikkerheder, der knytter sig til bestemmelsen af organisk stof, og hertil kommer de usikkerheder, der er forbundet med bestemmelse af de stofgrupper, der indgår i foderværdiberegningen. Endvidere er den almindelige formel for foderværdiberegning (1) ikke velegnet for formålet, idet der er grund til at tvivle på, at det kan være rigtigt at benytte de samme faktorer (1,41, 1,91, 1,00 og 1,00) på både afgrøde og ensilage, idet der meget vel under ensileringen kan tænkes at være sket betydelige ændringer af energiindholdet pr. g i de enkelte stofgrupper. Desuden er det vanskeligt at finde et relevant kriterium for fastsættelse af et passende værdital. Derimod er det mindre væsentligt, at de partielle fordøjelighedskvotienters betydning er temmelig uklar, da der for bestemmelse af foderværditabet kun indføres en ubetydelig fejl ved at basere foderværdibestemmelsen alene på indholdet af fordøjeligt organisk stof og protein.

Konklusionen af det oven anførte må blive, at en præcis bestemmelse af foderenhedstab er en meget vanskelig og kompliceret opgave, og der må regnes med, at resultatet vil være behæftet med endog meget betydelig usikkerhed. Det kan derfor være fristende at anbefale, at man ved ensileringsforsøg i almindelighed nøjes med at bestemme tabet af tørstof eller organisk stof – eventuelt af fordøjeligt organisk stof – idet det naturligvis klart må præciseres, hvordan fordøjeligheden er bestemt.

Imidlertid giver ingen af disse mål for ensileringsstab en udtømmende beskrivelse af tabet, hvilket navnlig vil være utilfredsstillende, hvis ensilering skal sammenlignes med andre konserveringsmetoder. Målet må derfor fortsat være at finde frem til forbedrede fremgangsmåder til bestemmelse af foderværditab. Med henblik herpå skal i det følgende afsnit søges en analyse af de vigtigste stoflige og energetiske omsætninger ved ensilering, og på basis heraf undersøges mulighederne for en forbedring af beregningsmetoderne.

V. Ensileringsprocesserne

A. Årsager til ensileringsstab

Ensileringsstabene kan henføres til tre hovedårsager:

- a) Saftafløb
- b) Iltning under nedlægningen og i opbevaringsperioden
- c) Egentlige gæringer (anaerobe omsætninger)

Det bemærkes, at ensileringsforsøg sædvanligvis ikke er anlagt på en sådan måde, at der kan skelnes mellem iltningstab og gæringstab, og meget ofte vil heller ikke tabene ved saftafløb kunne bestemmes særskilt.

Ud over disse tab, der sker i siloen, kan der ske tab i marken, hvilket navnlig har betydning, hvis afgrøden forvejres. Disse tab kan have forskellige årsager:

- a) Mekaniske tab. Der kan her være tale dels om bladspild, hvorved der sker en selektion af afgrøden, der som oftest medfører en

forringelse af dens værdi, dels om tab uden selektion.

b) Iltningstab. Ved kortvarig henliggen i marken vil den største del af dette tab skyldes ånding, men ved længere tids henliggen vil også forskellige mikroorganismer medvirke ved iltningen.

c) Udvaskning ved regn.

I de følgende afsnit skal forsøges klarlagt, hvor meget de enkelte tabskilder bidrager til det samlede stof- og energitab, idet der dog vil blive set bort fra marktabene, således at kun tabene i siloen omtales.

B. Tab ved saftafløb

Tabene ved saftafløb kan for tørstoffattige afgrøder blive meget stort. Ved ensilering af roetop kan indtil ca. 20 procent af det organiske stof gå bort med ensilagesaften, og også for græsafgrøder kan tabet være meget betydeligt. Med stigende tørstofindhold aftager tabet stærkt, og når tørstofprocenten når op på ca. 30, ophører tabet helt. (*Land Jensen, Mølle, Møller og Nørgaard Pedersen, 1962*).

De organiske stoffer, der tabes med ensilagesaften, er vandopløselige, formentlig praktisk taget 100 % fordøjelige. Dette betyder, at saftafløbet vil bevirke et fald i fordøjeligheden af ensilagens organiske stof, og tabet regnet i procent af fordøjeligt organisk stof bliver væsentligt højere end regnet i procent af organisk stof. Regnes eksempelvis med, at fordøjelighedskvotienten for afgrødens organiske stof er 0,70, bliver det procentiske tab af fordøjeligt organisk stof $1 : 0,70 = 1,43$ gange så stort som det procentiske tab af organisk stof. Saftafløbet bevirker desuden, at koncentrationen af tungt fordøjelige stoffer i ensilagen forøges, hvilket har en depressiv virkning på foderværdien. Dette giver en tendens i retning af, at foderværditabet bliver endnu højere end tabet af fordøjeligt organisk stof. Imidlertid har de opløselige stoffer et væsentligt lavere energiindhold pr. kg end de uopløselige stoffer (se tabel 7 og 8), hvilket vil have en modsat rettet effekt.

Det bemærkes, at askeindholdet i ensilage-

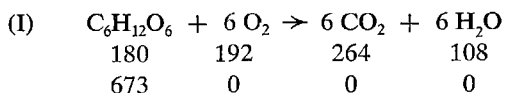
saftens tørstof almindeligvis er langt højere end i afgrødens tørstof, hvorfor tørstoffabet må anses for et dårligt mål for tabet af foderværdi.

C. Tab ved iltningprocesser

Ved god ensilering har ånding og mikrobiel iltning et meget lille omfang, idet der kun er mulighed for disse omsætninger under nedlægningen og en kort tid efter dækningen. Den mængde luft, der indesluttet i ensilagemassen, er – selv om ensilagen ikke er presset særligt stærkt sammen – forholdsvis lille, og vil ved sommertemperatur forbruges i løbet af få timer. Ensileres om efteråret, vil det naturligvis tage noget længere tid, men i alle tilfælde vil den mængde stof, den indespærrede ilt kan nedbryde, være mindre end 0,3 % af det organiske stof, og det samlede iltningstab burde kunne holdes under ca. 2 procent. (*Nørgaard Pedersen, 1971*).

Udstrækkes nedlægningen over længere tid og/eller dækningen er lidet effektiv, kan iltningprocesser antage et helt katastrofalt omfang. I praktisk ensilering er iltning utvivlsomt oftest den alvorligste tabskilde (*Nørgaard Pedersen, 1971*), og ikke sjældent må noteres tab på 20–50 % (*Land Jensen, Nørgaard Pedersen, Møller og Skovborg 1969*), og undertiden er al ensilagen kassabel på grund af iltningsskader.

Ved iltning er det ligesom ved saftafløb de letopløselige letfordøjelige stoffer, der går tabt. Iltningen illustreres ofte ved reaktionsskemaet:



I dette og følgende skemaer angiver første talrække under reaktionsskemaet stoffernes vægt i g og næste talrække energiindholdet i kilokalorier. Af skemaet kan beregnes, at energitabet pr. g nedbrudt stof bliver ca. 3,75 kcal. Dette skema er imidlertid ret vilkårligt valgt, idet også mange andre organiske stoffer kan nedbrydes ved iltning. Det er således rimeligt at regne med, at der ved de indledende iltning-

processer nedbrydes organiske syrer, og strækker iltningen sig over længere tid, vil også polymere stoffer blive omsat. Ses bort fra partielle iltninger, som f. eks. iltning af glucose til eddikesyre (efter alkoholgæring!), bliver såvel stof-tab som energitab selvfølgelig 100 procent, uanset hvilke forbindelser der nedbrydes, men det er vigtigt at bemærke, at der er en meget stor forskel på forskellige plantestoffers energiindhold, hvorfor energitabet pr. g tørstof bliver stærkt afhængig af hvilke forbindelser, der nedbrydes ved iltningen. Dette er illustreret i tabel 9 (side 38).

Ved iltning er det, som nævnt, de letopløselige stoffer, der går tabt, og man kunne vente nogenlunde samme forhold mellem tab af organisk stof og tab af foderværdi ved iltningprocesser som ved saftafløb. Antager iltningen et stort omfang, er skaden imidlertid langt alvorligere, idet iltningen i modsætning til saftafløb følges af en betydelig kvalitetsforringelse på grund af ophobning af ildelugtende og vel også skadelige produkter i ensilagen. Ved forsøg er det vist, at blot 15–25 procent af det organiske stof iltes bort, bliver grønmassen forvandlet til en slimet, oftest brunsort, stinkende masse, der må betragtes som totalt kassabel, hvilket er ensbetydende med, at tabet er 100 procent (Nørgaard Pedersen 1971).

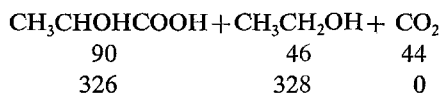
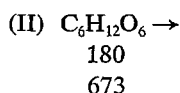
D. Tab ved anaerobe omsætninger

Ved god ensilering er den i grønmassen indsluttede ilt som nævnt forbrugt i løbet af få timer efter dækningen, og der er herefter kun mulighed for anaerobe omsætninger.

I det følgende skal omtales de vigtigste af disse egentlige ensileringsprocesser og de dermed forbundne tab af stof og energi. Fremstillingen er stærkt forenklet, idet det for bedømmelse af tabene skønnes uden betydning, hvilke reaktionsveje der følges, og hvilke mellemprodukter der dannes, og ligeledes er det betragtet som uvæsentligt for fremstillingen, hvilke mikroorganismer der formidler omsætningerne.

Oftest illustreres de kemiske omsætninger, der sker i ensilage, ved hjælp af kemiske reaktionsligninger. Her, hvor formålet er at belyse

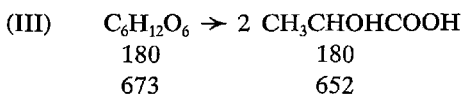
stof- og energiomsætningen, skønnes disse ligninger ikke velanvendelige, idet der i disse ligninger ofte foruden hovedproduktet optræder et eller flere biprodukter, hvorved det bliver umuligt at afgøre, om det tab, der er forbundet med omsætningen, skyldes tab ved dannelse af hovedproduktet eller biprodukterne. Eksempelvis kan man ikke umiddelbart af reaktionsligningen



afgøre, om tabet skyldes dannelsen af mælkesyre eller alkohol.

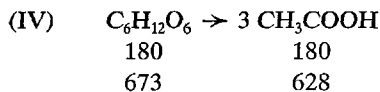
For at belyse hvilke stof- og energitab, der er forbundet ved dannelse af et stof ud fra et andet, kan bekvemt anvendes balanceskemaer (Nørgaard Pedersen 1971), hvor omsætningen af et stof til et andet illustreres med CO₂ og H₂O som de eneste sekundære stofskifteprodukter. Ved denne fremgangsmåde vil det totale stof- og energitab ved en given omsætning fremkomme som summen af tabene ved dannelse af de enkelte stoffer. De energitab, der er forbundet ved dannelse af et givet stof, bliver bestemt eksakt, da CO₂ og H₂O ikke indeholder energi (eller rettere: deres energiindhold defineres som nul), og stoftabet bliver ligeledes bestemt eksakt, da stoftab kun kan ske i form af H₂O, CO₂ eller andre flygtige forbindelser (brint, methan etc.).

Mælkesyregæring er ved vellykket ensilering den vigtigste omsætning, og mælkesyre kan udgøre indtil ca. 20 procent eller endog mere af ensilagens organiske stof. Balanceskemaet for dannelse af mælkesyre er



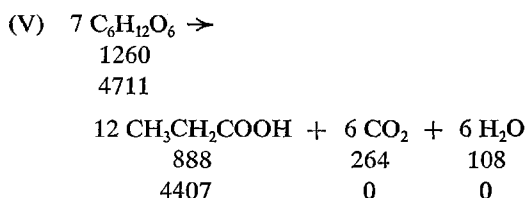
Af skemaet fremgår, at mælkesyredannelsen sker uden stoftab og med et meget ringe energitab, kun ca. 3,1 procent.

Eddikesyre findes altid i ensilage i større eller mindre mængder, oftest 3–5 procent af det organiske stof, men undertiden betydeligt mere. Balanceskemaet er



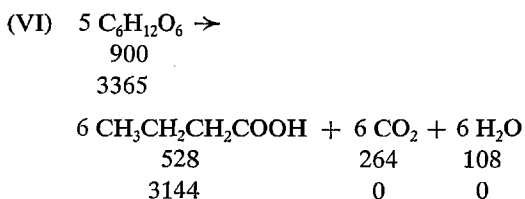
hvoraf det fremgår, at eddikesyredannelsen ikke er forbundet med stoftab, og at energitabet er ret ringe, ca. 6,7 procent.

Propionsyre findes ofte i mindre mængder i ensilage, sjældent over 1 procent af organisk stof. Balanceskemaet er



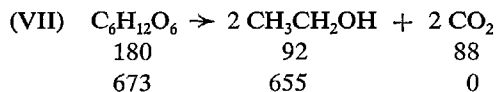
Stoftabet bliver herefter 29,5 procent og energitabet 6,5 procent.

Smørsyre dannes i ensilage i stærkt varierende mængder. I virkelig god ensilage findes smørsyre overhovedet ikke, men i fejlgærede ensilager kan syren udgøre indtil ca. 15 procent af organisk stof. Balanceskemaet for smørsyredannelsen er



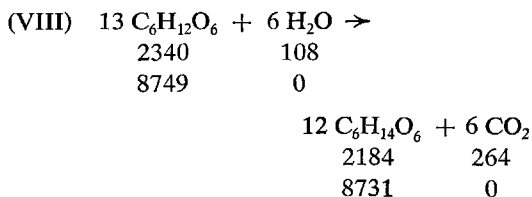
Stoftabet bliver således 41,3 procent og energitabet 6,6 procent.

Alkohol findes altid i ensilage, men oftest i mindre mængder, omkring 2 procent af organisk stof. Men i ensilage af sukkerrige afgrøder, herunder sukkerrigt græs, kan indholdet blive meget højere (Nørgaard Pedersen 1971, Nørgaard Pedersen og Witt, 1973). Balanceskemaet for alkoholdannelsen er



hvertil svarer et stoftab på 48,9 procent og et energitab på kun 2,7 procent.

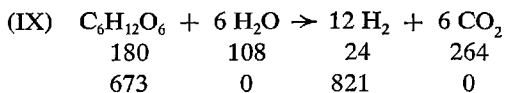
Ifølge nyere undersøgelser synes mannitol at være et normalt stofskifteprodukt i ensilage (Whittenbury, McDonald, and Bryan-Jones, 1967, McDonald, Henderson and Mac Gregor, 1968), og indholdet kan undertiden være ret betydeligt. Balanceskemaet for dannelse af mannitol er



Stoftabet er herefter 6,6 procent, medens energitabet er helt ubetydeligt, kun 0,2 procent.

Særlig interesse knytter der sig til dannelsen af luftformige forbindelser, især brint, som regnes normalt at dannes i forbindelse med smørsyregæring, og som også kan dannes ved andre omsætninger. Hvor store mængder brint, der almindeligvis dannes, er kun utilstrækkeligt belyst, men undersøgelser ved Ødum forsøgsstation (Nørgaard Pedersen og Witt, 1974 og 1975) tyder på, at det sædvanligvis er ret ubetydelige mængder.

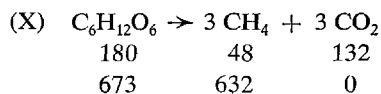
Balanceskemaet for dannelse af brint bliver



Ved dannelsen af brint er der således et stoftab på 86,7 procent, men da brinten naturligvis bortgår, bliver stoftabet ved omsætningen 100 procent. Ved dannelsen af brint er der en energigevinst på 22 procent (hvilket naturligvis må kompenseres ved samtidig fortløbende energigivende omsætninger), hvorfor der med brinten bortgår 122 procent af hexosens energi.

Methan er et normalt stofskifteprodukt ved vomgæring, men der regnes med, at det almin-

deligvis ikke dannes i ensilage, da dennes pH sædvanligvis er for lavt for de mikroorganismer, der formidler denne omsætning. Balanceskemaet for omsætningen er



Beregnet på samme måde som for brintdannelsen bliver stoftabet herefter $73,3 + 26,7 = 100$ procent og energitabet $6,1 + 93,9 = 100$ procent.

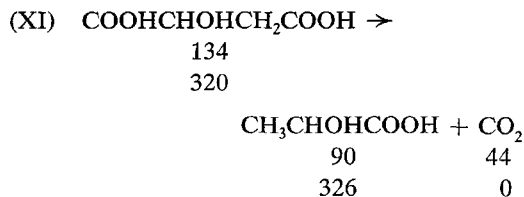
I balanceskemaerne er dannelse ud fra hexoser benyttet som eksempel. Var der gået ud fra pentoser, ville resultatet imidlertid blive omtrent det samme, da pentoser har meget nær samme energiindhold pr. g som hexoser. Det samme gælder, hvis dannelsen sker ud fra dieller polysakkarider, bortset fra, at der da bliver en vis stofgevinst ved hydrolysen (se senere). Dannelse ud fra organiske syrer m. m. vil blive omtalt særskilt.

I ensileringsens første stadier udvikles store mængder kuldioxid, først ved ånding og mikrobiel oxidation, senere ved anaerobe omsætninger. En del af den anaerobt udviklede kuldioxid dannes ved syre- og alkoholgæring, men decarboxylering af organiske syrer spiller også en betydelig rolle (*Whittenbury, McDonald and Bryan-Jones, 1967, McDonald, Henderson and Mac Gregor, 1968*).

Græsafgrøder indeholder ret betydelige mængder organiske syrer, 2–5 procent af organisk stof. Æblesyre udgør oftest over halvdelen af den samlede mængde, men også citronsyre forekommer i betydelige mængder, og resten udgøres af en lang række forskellige syrer, hvoraf skal nævnes glycerinsyre, ravsyre, malonsyre, fumarsyre, myresyre, eddikesyre, kinasyre og shikiminsyre (*Jones and Barnes 1967, McDonald, Henderson and Mac Gregor, 1968, Lessard and McDonald, 1966, Playne and McDonald, 1966, Carpintero, Holding and McDonald, 1969*). Af disse syrer genfindes kun myresyre, eddikesyre og undertiden ravsyre i ensilage. Som hovedprodukter ved nedbrydningen dannes mælkesyre, flygtige syrer, alko-

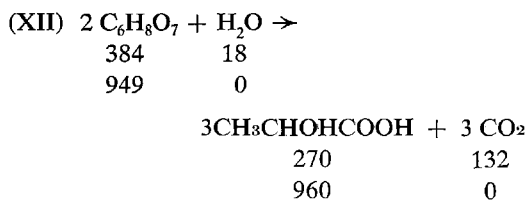
hol og kulddioxid, altså de samme stoffer, som dannes ved forgæring af hexoser. Som eksempel på tabet ved sådanne omsætninger vises balanceskemaer for nedbrydning af æblesyre og citronsyre.

Æblesyre kan fraspalte kuldioxid under dannelse af mælkesyre



Stoftabet bliver således 32,8 procent, medens energitabet er negativt, $\div 1,9$ procent.

Citronsyre kan fraspalte kuldioxid under dannelse af mælkesyre og eddikesyre. Med dannelse af mælkesyre som eksempel bliver balanceskemaet



hvorefter stoftabet bliver 29,7 procent og energitabet $\div 1,2$ procent. Balanceskemaet for eddikesyre dannet ud fra citronsyre ville give samme stoftab, medens energitabet ville blive 0,7 procent.

I henhold til de to balanceskemaer, XI og XII, er decarboxyleringen således – naturligvis – forbundet med et stort stoftab, hvorimod energitabet er ganske ringe. Dette forhold er helt generelt og gælder endog også, når kuldioxid dannes ved oxidation, idet det er iltoptagelsen og ikke kuldioxidfraspaltningen, der giver det store energitab.

Hydrolyse er en proces, hvorved der sker en meget lille energiomsætning, men som giver en betydelig forøgelse af stofmængden. Eksempelvis hydrolyseres stivelse til glucose efter skemaet

benyttes ved beregning efter (1), idet denne sidstnævnte værdi, som tidligere omtalt, ofte må korrigeres for det forhold, at et foders energiindhold pr. kg organisk stof er højere eller lavere end det gennemsnit, ud fra hvilket beregningsformlens konstanter er bestemt, medens den førstnævnte værdi kun skal korrigeres for udnyttelsesgraden af den fordøjelige energi, og således kan betegnes som et egentligt værdital med en mere entydigt defineret betydning.

Problemstillingen ved bestemmelse af foder-værditabet ved ensilering synes herefter klar, idet opgaven bliver dels at bestemme tabet af fordøjelig bruttoenergi og dels at fastlægge afgrødens og ensilagens værdital.

Energitabet kan beregnes som differencen mellem afgrødens og ensilagens energiindhold, idet energiindholdet enten beregnes ud fra kemiske analyser eller bestemmes direkte ved kalorimetri. Man kunne også gå den vej, at bestemme energitabet direkte ved, at energiindholdet i ensilagesaft og gæringsgasser bestemmes, hvilket kræver en temmelig avanceret forsøgsteknik, ligesom der eventuelt kan blive tale om visse korrektioner (se senere).

Afgrødens og ensilagens værdital (V_C) vil kun kunne bestemmes, hvis ensileringsforsøgene ledsages af fodringsforsøg, d.v.s., at man i almindelighed vil være henvist til at beregne disse tal, f. eks. ud fra ligninger af type som (19), (20) og (21). Men naturligvis vil beregningerne ikke kunne baseres på disse ligningers konstanter, da disse er udledt på basis af foderenhedsberegninger ud fra formel (1). Dette er ensbetydende med, at der ikke i øjeblikket eksisterer eksperimentelle data – eller i hvert fald kun megt få – hvorpå ansættelse af V_C kan baseres. Fremskaffelse af sådanne data vil forudsætte, at også fodringsforsøg baseres på energimålinger i stedet for (eller som supplement til) stofmålinger.

B. Bestemmelse af tab af fordøjelig energi på basis af kemiske analyser

Det første problem ved denne fremgangsmåde er hvilke analyser, der er nødvendige for beregning af afgrødens og ensilagens indhold af for-

døjelig energi. Det må straks konstateres, at beregninger baseret på en almindelig foderanalyse ikke kan forventes at føre til målet, idet energiindholdet pr. g af stofferne i de enkelte fraktioner varierer så meget fra afgrøde til afgrøde og fra afgrøde til ensilage, at det må betragtes som udelukket, at det kan være rigtigt at benytte faste værdifaktorer (sml. tabel 7 og afsnit III A og B).

Ved beregningen ud fra foderanalysen vil man endvidere tillægge de fordøjelige og de ufordøjelige stoffer samme energiindhold pr. g, hvilket heller ikke kan antages at være rigtigt, idet de let fordøjelige stoffer må regnes sædvanligvis at have et lavere energiindhold pr. g end de ufordøjelige stoffer (sml. tabel 7), og på basis af foderanalysen vil man således oftest beregne indholdet af fordøjelig energi for højt.

Det er meget vigtigt, at man helt gør sig klart, at der, som det fremgår af afsnit V, ikke kan regnes med nogen defineret sammenhæng mellem tabet af organisk stof og tabet af energi. Dette er yderligere illustreret i tabel 8, hvor der er givet en oversigt over energiindholdet pr. g af nogle plantestoffer og i nogle stoffer, der ved ensileringen kan dannes ud fra disse. Endvidere er anført, hvor store stofmængder, der dannes pr. g omsat stof, samt forholdet mellem energiindhold pr. g af henholdsvis dannet og omsat stof.

Det ses, at de fleste gæringer resulterer i en energikoncentration, de eneste undtagelser er forgæring af monosakkarid til mælkesyre eller eddikesyre. Til gengæld er disse omsætninger sædvanligvis de kvantitativt vigtigste. Hydrolyse har en modsat effekt.

Ved brintdannelse er energitabet væsentligt større end stoftabet (sml. skema IX), men kun den del af energitabet, der svarer til glucosens energiindhold, vil være egentligt tabt, idet den overskydende del (ca. 22 procent) vil modsvarer af et lavere varmetab ved samtidigt forløbende energigivende omsætninger, f. eks. smørsyre-gæring. Brintdannelsen vil iøvrigt ikke efterlade noget direkte spor i ensilagen og vil kun påvirke energikoncentrationen derved, at de stoffer, der nedbrydes, sædvanligvis vil have et

Table 8. Energiindhold i nogle plantestoffer og stoffer, de ved ensileringen kan omdannes til
 Table 8. Contents of energy in some compounds in herbage and in some of their fermentation products

Plantestof	kcal pr. g	Dannet stof	g stof dannet pr. g omsat stof g formed	kcal pr. g	Forholdet mel- lem energiind- hold i ensilage- stof og plantestof Energy in ferm. prod./Energy in herbage comp.
Compound in herbage	kcal per g	Compound formed	per g fermented	kcal per g	
Æblesyre <i>Malic acid</i>	2,388	Mælkesyre	0,672	3,622	1,52
Citronsyre <i>Citric acid</i>	2,472	Mælkesyre	0,680	3,622	1,47
Glucose	3,739	Mælkesyre	1,000	3,622	0,97
Glucose	3,739	Eddikesyre	1,000	3,489	0,93
Glucose	3,739	Propionsyre	0,705	4,963	1,33
Glucose	3,739	Smørtsyre	0,587	5,945	1,59
Glucose	3,739	Ethanol	0,511	7,120	1,90
Glucose	3,739	Mannitol	0,933	3,998	1,07
Stivelse <i>Starch</i>	4,182	Glucose	1,111	3,739	0,89

energiindhold, der er lavere end det gennemsnitlige energiindhold i afgrødens organiske stof.

Ved svag iltning er forholdet mellem energitab og stoftab det samme som ved brintdannelsen, den væsentligste forskel er, at ved iltning tabes energien i form af varme, medens den ved brintdannelsen bortføres som kemisk energi. Forholdet mellem energitab og stoftab må antages at være tiltagende med tiltagende iltning, idet det må formodes, at det i iltningens første faser fortrinsvis er energifattige forbindelser, der nedbrydes, og at nedbrydningen af tungere omsættelige mere energirige forbindelser vil spille en desto større rolle, jo længere nedbrydningen skrider frem (*Nørgaard Pedersen 1971*).

Ved saftafløb er det naturligvis opløselige stoffer, der går tabt, d.v.s., at man må regne med, at energikoncentrationen i saftens organiske stof er relativt lav.

Af ovenstående følger, at uanset tabsårsagen må det formodes, at tabene medfører en forhøjelse af ensilagens energiindhold pr. g tørstof. Men samtidig forringes energiens værdi, da de tabte stoffer er meget let fordøjelige, hvorfor tabet medfører nedgang i fordøjelighed og – i hvert fald hvis tabene antager et

større omfang – også en nedgang i værditallet.

De koefficienter, der benyttes ved sædvanlig foderværdibestemmelse, kan som tidligere berørt, ikke anses for egnede som basis for vurdering af energitab. Der bliver faktisk kun den mulighed, at afgrøde og ensilage underkastes en gennemgribende kemisk analyse, således at alle stoffer, der findes i blot nogenlunde betydelige mængder, bestemmes, hvorefter energien bestemmes som summen af de enkelte stoffers energiindhold. Dette vil være et meget stort arbejde, idet det bl. a. er nødvendigt at bestemme monosakkarider, disakkarider og polysakkarider hver for sig. Endvidere må fordøjeligheden af hver enkelt fraktion estimeres. Nogen lettelse i arbejdet kan opnås, hvis man går ud fra, at der ved ensileringen kun tabes fordøjeli genergi, hvilket i hvert fald, hvis tabene er relativt små, synes ret rimeligt, idet tabet af fordøjelig energi da vil være identisk med tabet af totalenergi, således at bestemmelsen af de enkelte fraktioners fordøjelighed kan undlades. Men uanset denne lettelse vil bestemmelse af energitab på basis af kemiske analyser være så omstændeligt, at man antagelig vil finde, at fremgangsmåden i almindelighed vil være uanvendelig.

C. Bestemmelse af ensileringstab på basis af kalorimetri

Det skal straks præciseres, at det mest logiske ville være, om foderværdibestemmelse og hermed bestemmelse af foderværditab ved differensforsøg, altid baseredes på kalorimetrisk målinger.

Når denne fremgangsmåde dog så sjældent benyttes, beror det på, at energibestemmelse ved kalorimetri er en temmelig arbejdskrævende analyse, og at analysen kan være behæftet med temmelig store usikkerheder, bl. a. på grund af prøveudtagningsvanskeligheder.

Skal energitabet bestemmes ved kalorimetri, må alle eventuelle tab ved prøvernes forberedelse til analyse undgås. Ved tørring sker der altid et større eller mindre tab, og den kalorimetrisk bestemmelse må derfor fortrinsvis udføres i utørret materiale, eller tabene ved tørringen må bestemmes eksakt.

I de senere år er der udfoldet ret store anstrengelser for at udvikle metoder til kalorimetrisk energibestemmelse i friske afgrøde- og ensilageprøver.

Fugtige prøver kan ikke uden videre forbrændes i en kalorimetrisk bombe. For at få forbrændingen til at lykkes, må nødvendigvis tilsættes et stof med relativt højt energiindhold (primer) og forskellige stoffer, er foreslået anvendt, f. eks. ethylalkohol (*Colovos, Keener and Davis, 1957, Flatt 1957*), benzoesyre (*Bratzler and Swift, 1959*) og diethylamin (*Todorow, 1967*). Ethylalkohol synes ikke at være velegnet, formentlig fordi en del kan fordampe inden forbrændingen (*Bratzler and Swift, 1959, Witt og Nørgaard Pedersen 1972*). Den relative fejl ved energibestemmelse vil naturligvis forøges, når der anvendes primer. Antages at totalfejlen er konstant, vil den relative fejl, der jo udelukkende må debiteres analyseprøven, vokse med den procentdel, primerens energi udgør af totalenergien. Det er derfor betydningsfuldt, at primeren udgør en så lille del af totalenergien som muligt.

Vigtigt er det, at hvis tørstofprocenten i græs eller ensilage er højere end 35–40, kan fuldstændig forbrænding opnås uden tilsætning af

primer (*Witt og Nørgaard Pedersen 1972*), og fåregødning, der sædvanligvis har et tørstofindhold højere end 35 procent, kan ligeledes forbrændes uden brug af primer (*Witt 1974*).

I de seneste år har polyethylen, der har et energiindhold på ca. 11000 cal pr. g, fundet udstrakt anvendelse som primer, og det har vist sig, at man derved kan opnå sikker energibestemmelse i prøver med et tørstofindhold, der blot er lidt over 20 % (*Witt 1975*).

Prøveudtagning i friske prøver anses almindeligvis som betydeligt vanskeligere end prøveudtagning i tørrede fint formalede prøver, og alene af den grund bliver energibestemmelse i friske prøver noget mere usikker end i tørrede prøver. Ved en passende teknik synes prøveudtagningsfejlen at kunne reduceres væsentligt (*Witt og Nørgaard Pedersen 1972, Nørgaard Pedersen og Witt 1972*), og man bør ikke overse, at der ved tørringen indføres en lang række usikkerheder, og også findelingen af de tørrede prøver kan give betydelige ændringer af prøvens kemiske sammensætning (*Bailey, Hughes and McDonald 1957, Witt og Nørgaard Pedersen, 1975 b*), hvorfor energibestemmelse i tørrede formalede prøver til trods for bedre reproducerbarhed dog må formodes at give mindre rigtige resultater end bestemmelse i friske prøver.

Bestemmelse af ensileringstab på basis af kalorimetri har vel endnu et meget begrænset omfang, for en stor del begrundet af de tekniske vanskeligheder ved bestemmelsen. Men det er forfatterens opfattelse, at man bør forsøge at overvinde disse tekniske vanskeligheder, og ved yderligere udvikling af de moderne adiabatiske kalorimetre skulle det også være muligt at forenkle analysen så meget, at den bliver omtrent ligeså let gennemførlig som en sædvanlig tørstofanalyse.

Ligeledes efter forfatterens opfattelse er det meget ønskeligt, at tabsbestemmelsen baseres på direkte energibestemmelse, idet dette vil betyde en så stærk forenkling af problemkomplekset, at det skulle være muligt at nå frem til en klar formulering af problematikken, hvilket, hvis tabsbestemmelsen baseres på tørstof-

bestemmelse og kemiske analyser – som det tydeligt vil fremgå af nærværende afhandling – er praktisk taget umuligt. Det skal bemærkes, at også i forbindelse med andre former for forsøg, hvor foderværdien af friske eller konserverede afgrøders foderværdi skal bestemmes, vil det ofte betyde en væsentlig forenkling af problemstillingen.

Det er generelt en fordel, at bestemmelse af ensileringsstabene baseres på energi. Men i visse forsøgstyper vil fordelene være større end i andre. Ved forsøg med tilsætning af forskellige ensileringsmidler er det således en betydelig ulempe, at tørstof, aske og organisk stof i afgrøde og ensileringsmiddel ikke kan betragtes som additive størrelser, hvilket giver betydelige korrektionsproblemer (sml. side 564-568). Ved bestemmelse af energitab er denne usikkerhed elimineret, idet energien er additiv.

I forsøg, hvor forskellige tekniske fremgangsmåder ved ensilering sammenlignes, vil en betydelig del af problematikken være, hvor store iltningsskaderne er. Som omtalt side 587, må det formodes, at der ved iltningen først nedbrydes iltrige energifattige forbindelser, og efterhånden, som iltningen skrider frem, vil iltindholdet i de omsatte stoffer falde og energiindholdet stige. Baseres tabsbestemmelsen på organisk stof, vil man derfor overvurdere små iltningstab og undervurdere store iltningstab, og de primitive konserveringsmetoder vil derved blive bedømt for gunstigt i forhold til teknisk bedre metoder.

For vurdering af foderværditabet må fordøjeligheden af afgrødens og ensilagens energi bestemmes (sml. dog side 593). Da de let fordøjelige stoffer, som tidligere omtalt har et lavere energiindhold pr. g end de tungere fordøjelige, vil fordøjelighedskvotienten for energi sædvanligvis være noget lavere end fordøjelighedskvotienten for organisk stof (*Nørgaard Pedersen og Witt 1974*).

At tabet baseres på energibestemmelse overflødiggör ikke de kemiske analyser. Men analyserne vil kun skulle danne grundlag for vurdering af energiens nettoværdi. Hvilke analyser, der vil være relevante for dette formål, skal

ikke nærmere diskuteres på dette sted, blot bemærkes, at man naturligvis altid vil være interesseret i proteinindholdet, og at de kemiske analyser iøvrigt må tjene til primært at bestemme et værdital, som, når foderværdien baseres på energi, vil have en klart afgrænset betydning. I nogle forsøg vil der muligvis også blive tale om, at fordøjeligheden af energi estimeres ud fra kemiske analyser, og den mulighed, at man på et eller andet tidspunkt når frem til kemiske metoder til bestemmelse af foderværdi, som vil blive foretrukket frem for in vitro metoder, forekommer sandsynlig.

D. Direkte bestemmelse af ensileringsstab

Ved forsøg efter den traditionelle differensmetode må man regne med, at det beregnede tab ikke vil kunne bestemmes med nogen stor sikkerhed, idet forsøgsfejlene selv med den bedste teknik vil være store i forhold til tabet. Kan f. eks. tørstofmængden i grønt og i ensilage bestemmes med en forsøgsfejl på 2 procent, vil tabet blive bestemt med en forsøgsfejl på ca. 2,8 procent, hvilket i forhold til tabet er en ret stor fejl. Det er derfor nærliggende at overveje, om der ikke kunne opnås en mere sikker bestemmelse af tabet ved at måle de tørstofmængder, der tabes ved saftafløb og udvikling af gæringsgas. En sådan fremgangsmåde er anvendt af *Fyrileiv (1969)*, der bestemte tørstofmængden i ensilagesaft og den udviklede mængde kuldioxid, hvorefter tørstofftabet beregnedes som summen af de to størrelser. I de samme forsøg bestemtes tørstofftabet også ved den sædvanlige differensmetode, og *Fyrileiv* fandt, at den direkte metode var den mest præcise.

Der kan imidlertid rejses en del indvendinger mod *Fyrileivs* fremgangsmåde. Der kan således ved ensileringsprocesserne også ske tørstofftab ved udvikling af andre luftarter, f. eks. brint. Ved visse kemiske omsætninger, især hydrolyse og kondensation, kan der optages eller udskilles vand, hvorved der kan ske ret betydelige ændringer i tørstofmængden. De tørstofftab – eller tørstoffgevinster – som disse omsætninger bevirker, vil ikke blive bestemt ved

Fyrileivs metode, men dette må vel nærmest betragtes som en fordel, da omsætningerne ikke medfører væsentlige ændringer i energiindhold og ikke kan antages at påvirke foderværdien synderligt. Den betydeligste indvending mod Fyrileivs metode er utvivlsomt, at det er meget diskutabelt, om tørstoftabet, og andre mål for tab, der er baseret på tørstoftabet, overhovedet kan anses for relevante mål for ensilerings-tabet, hvilket også gælder den del af tabet, der skyldes udvikling af kuldioxid, da denne proces kun giver et ubetydeligt energitab.

Mere relevant forekommer det at måle energitabet ved ensileringen. For at måle dette tab må energien i ensilagesaften og de udviklede luftarter bestemmes og hertil må adderes de (små) mængder energi, som tabes i form af varme ved gæringsprocesser og det eventuelle tab ved oxidationsprocesser.

Den direkte tabsbestemmelse forudsætter absolut tætte forsøgssiloer og et apparatur, som muliggør kvantitativ måling af den udviklede mængde gæringsgas. Omfatter forsøgene studier af skaden ved iltningprocesser, må også den forbrugte mængde ilt kunne bestemmes. Forsøgssiloer af den type, som benyttes ved Völkenrode (Die Völkenroder Bilanzanlage (Honig 1968) tilfredsstiller de nævnte krav).

Fremgangsmåden ved bestemmelse af energitabet kan skitseres således:

Energien i ensilagesaften bestemmes kalorimetrisk, efter at vandet er tørret bort. Da saften indeholder forskellige flygtige stoffer, som fordamper ved tørringen, må disses mængde bestemmes og deres energiindhold beregnes ud fra fysisk-kemiske tabeller. Der må sikkert regnes med en ret stor relativ fejl ved bestemmelse af ensilagesaftens energiindhold, men da saftens energiindhold oftest vil være mindre end 5 procent af ensilagens, bliver den absolutte fejl dog ubetydelig.

Energitabet med gæringsgassen bestemmes ved, at den samlede mængde udviklet gas bestemmes, hvorefter gassens indhold af energiholdige gasarter bestemmes, hvilket f. eks. kan gøres ved gaskromatografi. Energiindholdet beregnes derefter ud fra calorietabeller. Da der

af energiholdige gasarter sædvanligvis kun forekommer brint i betydelige mængder (Nørgaard Pedersen og Witt, 1974, 1975), er denne bestemmelse meget enkel. Ved brintdannelsen er energitabet betydeligt højere end brintens energiindhold (sml. balanceskema IX), men ved beregningen regnes tabet ved brintdannelsen dog kun til brintens energiindhold, idet det øvrige energitab ved brintdannelsen vil resultere i, at der samtidigt enten dannes energifattige forbindelser, og energitabet herved vil blive beregnet ud fra mængden af disse stoffer, eller ved at varmetabet ved samtidigt forløbende energigivende omsætninger, f. eks. smørсыregæring, formindskes.

Tabet af kemisk energi, der sker ved anaerobe omsætninger, og som vil vise sig i form af varme, må beregnes ud fra de dannede stofmængder ved hjælp af balanceskemaerne i afsnit V D. Kvantitativt spiller formentlig kun dannelsen af mælkesyre, eddikesyre, smørсыre og alkohol nogen rolle, idet energiomsætningen ved de øvrige omsætninger er meget ringe. Beregningerne udføres lettest ud fra den forudsætning, at det er monosakkarider, der forgæres til de nævnte stoffer. Er der eksempelvis dannet 12 % mælkesyre, 5 % eddikesyre, 1 % smørсыre og 2 % alkohol (beregnet i % af organisk stof i afgrøden!), bliver energitabet pr. 180 g (molvægten af monosakkarid) organisk stof (sml. balanceskemaerne side 588 og 589):

$$0,120 \cdot 21 + 0,050 \cdot 45 + 0,010 \cdot \frac{900}{528} \cdot 44 \\ + 0,020 \cdot \frac{180}{92} \cdot 18 = 6,22 \text{ kcal}$$

eller 34,55 kcal pr. kg organisk stof, hvilket, hvis energiindholdet i organisk stof regnes til 4500 kcal, bliver ca. 0,80 procent, altså en relativt beskedent størrelse. Dette tal må endda reduceres noget, da en del af de nævnte stoffer er dannet ud fra organiske syrer. Denne modregning udføres lettest ved, at de organiske syrer forudsættes udelukkende omsat til mælkesyre (eller eddikesyre). Regnes med, at afgrødens organiske stof indeholder 3 % æblesyre

og 1 % citronsyre, bliver energitabet pr. 180 g organisk stof herefter:

$$0,03 \cdot \frac{180}{134} \cdot (-6) + 0,010 \cdot \frac{384}{180} (-11) = \div 0,42 \text{ kcal.}$$

Den til omsætningerne svarende mængde mælkesyre er:

$$(0,03 \cdot \frac{90}{134} + 0,01 \cdot \frac{270}{384}) 180 = 4,89 \text{ g}$$

hvortil, hvis dannelsen var sket ud fra glucose, svarer et energitab på:

$$4,89 \cdot 21 \cdot \frac{1}{180} = 0,57 \text{ kcal,}$$

hvorefter den samlede korrektion bliver $\div 0,42 \div 0,57 = \div 0,99$ kcal pr. 180 g omsat stof eller $\div 5,50$ kcal pr. kg omsat organisk stof, hvilket, når der regnes med 4500 kcal pr. kg organisk stof, bliver $\div 0,12$ procent, hvorefter det korrigerede tab af kemisk energi ved anaerobe omsætninger bliver $0,80 \div 0,12 = 0,68$ procent.

Eventuelle iltningstab ved ensileringen vil ikke kunne beregnes ud fra mængden af reaktionsprodukterne, der væsentligst er vand og kuldioxid. Man kunne måske tænke sig at beregne tabet på basis af den udviklede mængde kuldioxid, men dette vil støde på to vanskeligheder, dels er det ikke muligt, eller i hvert fald

meget kompliceret, at bestemme, hvor stor en del af kuldioxiden, der er udviklet ved henholdsvis anaerobe og aerobe omsætninger, og dels kan der ikke regnes med, at der er noget defineret forhold mellem mængden af kuldioxid udviklet ved iltning og energitabet ved iltning.

Den eneste mulighed er, at energitabet beregnes ud fra den forbrugte mængde ilt. Anvendeligheden af denne fremgangsmåde kan belyses ud fra tabel 9.

Af tabellen fremgår, at nedbrudt stof pr. g forbrugt ilt, kuldioxidudvikling pr. g iltet stof og energitabet pr. g nedbrudt stof er stærkt afhængigt af hvilke stoffer, der er omsat, hvilket viser, at hverken kuldioxidudviklingen eller tørstof-tabet er relevante mål for iltningstab, og at beregning af tørstof-tabet ud fra iltforbruget vil være behæftet med betydelig usikkerhed. Derimod er energitabet pr. g ilt nogenlunde uafhængigt af hvilke forbindelser, der iltes. Det bemærkes, at dette er en almen regel, der således også gælder for partielle iltninger. Iltes eksempelvis alkohol til eddikesyre, bliver energitabet 3,76 kcal pr. g ilt. Da der kan regnes med, at det hovedsagelig vil være organiske syrer og sukkerarter, der iltes, hvis ikke iltningen antager et helt urimeligt omfang, vil energitabet ved iltning kunne beregnes næsten eksakt, når der regnes med et tab på 3,52 kcal pr. for-

Tabel 9. Stof- og energitab ved iltning af forskellige stoffer
Table 9. Loss of OM and energy by oxidation of various compounds

Iltet stof	g stof omsat pr. g ilt g OM oxidiz. per g of O ₂	g dannet pr. g nedbrudt stof		g dannet pr. g ilt		Energitab, kcal pr. g omsat pr. g ilt	
		H ₂ O	CO ₂	H ₂ O	CO ₂	stof	ilt
Oxidized compound		g formed per g OM oxidiz. H ₂ O CO ₂		g formed per g OM oxidiz. H ₂ O CO ₂		Loss of energy Kcal per g OM oxid. g O ₂	
Oxalsyre	5,63	0,20	0,98	1,13	5,55	0,67	3,76
Citronsyre	1,33	0,38	1,38	0,50	1,83	2,47	3,30
Æblesyre	1,40	0,40	1,31	0,56	1,83	2,39	3,33
Monosakkarid	0,94	0,60	1,47	0,56	1,38	3,47	3,51
Polysakkarid	0,84	0,56	1,63	0,47	1,38	4,18	3,53
Pentosaner	0,83	0,55	1,67	0,45	1,38	4,24	3,52
Lignin	ca. 0,40	ca. 0,70	2,80	0,30	1,10	8,38	3,33
Palmitinsyre	0,38	1,13	2,75	0,39	0,96	8,69	3,26

brugt g ilt, idet betydningen af, at en del af de iltede stoffer vil være organiske syrer, elimineres ved, at disse syrer regnes forgæret til mælkesyre (sml. ovenfor). Det bemærkes her, at det ikke vil kunne afgøres, om den meget lille forskel mellem energitab ved nedbrydning af henholdsvis organiske syrer og sukkerarter skal godskrives de anaerobe eller aerobe omsætninger. Ved den skitserede fremgangsmåde vil den blive godskrevet de anaerobe omsætninger.

Det fremgår af foranstående, at det samlede energitab ved ensilering ved den direkte metode kan beregnes med en god sikkerhed, og de enkelte tabskilders bidrag til det samlede tab kan ligeledes beregnes med tilfredsstillende sikkerhed. Beregningerne er ved den direkte tabsbestemmelse betydeligt mere komplicerede end ved differensmetoden, og metoden stiller som nævnt temmelig store krav til forsøgsudstyret. En meget stor fordel ved den direkte metode er, at dens anvendelighed er mere generel, idet den kan anvendes også på afgrøder, der er så fugtige, at kalorimetrisk energibestemmelse er meget vanskelig.

E. Korrektion af den fordøjelige energis værdi

Uanset hvordan tabet af fordøjelig energi er bestemt, må det på en eller anden måde omregnes til tab af nettoenergi, d.v.s., at nettoenergien i såvel afgrøde som ensilage må bestemmes, idet det dog bemærkes, at af hensyn til bestemmelse af tabet er energiniveaueet ikke afgørende.

Er tabet af fordøjelig energi bestemt ved de i de foregående afsnit omtalte metoder, vil det ikke være rationelt at beregne nettoenergien ved hjælp af de i litteraturen foreliggende værdital, da disse er beregnet ud fra forsøg, hvor fordøjelig energi er bestemt ud fra den almindelige foderanalyse og således også korrigerer for, at man ofte ved denne fremgangsmåde får et ukorrekt mål for den fordøjelige energi. Af samme årsag er heller ikke foreliggende ligninger, hvor omregning fra fordøjelig energi til nettoenergi foretages ved reduktion for indhold af træstof eller ballast umiddelbart anvendelige.

Dette betyder, at når tabet af fordøjelig energi bestemmes ud fra egentlige energimålinger, findes der i virkeligheden ingen umiddelbart anvendelig fremgangsmåde til beregning af nettoenergitabet. Da omregningen til nettoenergi som nævnt må anses for påkrævet, nødsages man derfor til at anvende foreliggende værdital eller beregningsformler, eventuelt dog med visse modifikationer.

En meget stor fordel ved at basere foderværdiansættelsen på egentlige energimålinger er, at det bliver klart, hvad det er, der skal korrigeres for, nemlig forskellen mellem fordøjelig energi og nettoenergi. (Formelt gælder dette jo også, når den fordøjelige energi beregnes ud fra foderanalysen). Især når det gælder bestemmelse af ensileringstab, vil det være hensigtsmæssigt at opdele forskellen mellem fordøjelig energi og nettoenergi i dens to komponenter, forskellen mellem fordøjelig energi og omsættelig energi og forskellen mellem omsættelig energi og nettoenergi.

Forskellen mellem fordøjelig energi og omsættelig energi er energi tabt enten ved omsætninger i fordøjelsessystemet, fortrinsvis vommen eller med urinen. Når talen er om bestemmelse af ensileringstab bliver problemet således, om der ved ensileringsprocesserne er dannet (fordøjelige) stoffer, som er mere – eller eventuelt mindre – udsatte for tab i fordøjelsessystemet og med urinen end de stoffer, de er dannet ud fra. Vi vil betragte nogle af de omsætninger, der sker ved ensileringen, og forsøge at skønne over, om omsætningen må formodes at have indflydelse på tabene i fordøjelsessystem og med urinen.

Ved alkoholgæringen sker der kun et meget ringe tab af fordøjelig energi (sml. balance-skema VII), men formentlig en relativt stor del af alkoholen går tabt med udåndingsluften (*Laube*, 1967), hvilket naturligvis reducerer nettoenergien, og *Frederiksen* and *Ochia* (1970) fandt i overensstemmelse hermed, at alkohols nettoeffekt i forhold til nettoeffekten af eddikesyre er relativt lav. Alkoholgæringen bør derfor i hvert fald foreløbig betragtes som en uønsket proces.

Formentlig vil mange forskellige alkoholer, ketoner etc. på lignende måde være udsat for relativt store tab i fordøjelseskanaal og måske også med urin. Velkendt er det også, at der undertiden ved fodring med dårlig ensilage kan nås en så høj koncentration af ketoner i blodet, at der opstår sygelige tilstande, og store mængder af sådanne stoffer kan udskilles (tabes) i ruinen.

Af foderets sukkerstoffer forgæres den største del i vommen til flygtige syrer, hvoraf hovedparten resorberes direkte fra vommen. Det energitab, der er forbundet med disse omsætninger, kan således almindeligvis ikke undgås, og det er derfor tvivlsomt, om de energitab, der sker ved de tilsvarende gæringer i ensilagen, formindsker den omsættelige energi. Der er endog grund til at formode, at f. eks. eddikesyre kan have større værdi end det sukker, den er dannet ud fra, idet eddikesyre ret hurtigt resorberes fra vommen og således formodentlig vil være mindre udsat for den meget tabgivende methangæring end sukker.

Ved korrektion fra fordøjelig energi til omsættelig energi forekommer det rimeligt at antage, at korrektionen (z) vil kunne angives ved en produktsum af formen

$$(24) \quad z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_i x_i + \dots + c_n x_n,$$

hvor x_i er den totale fordøjelige energi i et stof eller en stofgruppe og c_i en tilhørende konstant, det for vedkommende stof eller stofgruppe karakteristiske forhold mellem omsættelig energi og fordøjelig energi. I henhold til de ovennævnte forhold kan det ikke udelukkes, at en del af de i (24) ingående c -værdier kan være negative. Den omsættelige energi er herefter bestemt ved

$$(25) \quad C_{\text{oms}} = C_{f_C} \div z.$$

Forskellen mellem omsættelig energi og nettoenergi er den termiske energi, der vil være bestemt af dels energiforbruget ved fordøjelsen (tygning, transport m. m.) og dels af andre forhold.

Fordøjelsesarbejdet vil være bestemt af foderets struktur og dets kemiske sammensætning.

Der regnes sædvanligvis med, at jo højere foderets indhold af tungt fordøjelige stoffer er, jo større er fordøjelsesarbejdet, hvilket kan begrunde den almindeligt anvendte reduktion af foderværdien efter træstofindhold eller ballastindhold. Som tidligere nævnt er de to korrektionsmetoder ikke principielt forskellige, men når foderværdiberegningen baseres på egentlig energibestemmelse, vil man opnå den enkleste beregning ved at benytte ballastreduktion, blot må ballast defineres som ufordøjelig energi (som antagelig vil være en relativt større størrelse end ufordøjelig organisk stof). Med ballastreduktion bliver nettoenergien

$$(26) \quad C_{\text{net}} = C_{f_C} - z \div p(1 - C_{f_C}) = \\ (1 + p) C_{f_C} - p - z,$$

hvor p er en konstant (ballastfaktoren) og z korrektionen fra fordøjelig energi til omsættelig energi (24). Ud fra (26) bestemmes indholdet af foderenheder ved multiplikation med en konstant faktor.

Foderets struktur påvirker som nævnt nettoenergien betydeligt, men at give kvantitative regler for strukturens betydning er dog ikke let, bl. a. fordi struktur vanskeligt kan beskrives ved præcise talmæssige mål.

Specielt ved vurdering af ensileringsstab ville det være betydningsfuldt at vide, om den strukturændring, som ensileringen medfører, påvirker foderets nettoenergi, og i så fald om virkningen er positiv eller negativ.

Et særligt problem er, at nogle stoffer (giftstoffer) kan have en specifik indvirkning på den termiske energi. At korrigerer for dette forhold må der vel i almindelighed ses bort fra.

VII. Appendiks

Fodringsforsøg til bestemmelse af ensileringsstab

Man kunne tænke sig, at foderværditabet ved ensilering bestemtes ved at kombinere ensileringsforsøgene med fodringsforsøg, holdforsøg med kvæg. Imidlertid er fodringsforsøg så teknisk krævende og kostbare, at kun nogle få af de mange foreliggende problemer kan belyses ved denne art forsøg.

Det er også meget vigtigt, at man gør sig klart, at end ikke ved at kombinere ensileringsforsøgene med fodringsforsøg (selv om der ses bort fra usikkerheder ved forsøgene) kan opnå en egentlig eksakt bestemmelse af foderværditabet, idet man kun kan bestemme foderværdien af ensilagen men ikke af den ensilerede afgrøde, hvis foderværdi derfor må estimeres ved de sædvanlige beregningsmetoder. Derimod kan man sammenligne foderværdien af forskellige ensilager fremstillet ud fra samme udgangsmaterialer, og derved skaffe et relativt mål for forskellige ensileringsmetoders effektivitet.

Ved fodringsforsøg bestemmes foderværdien ud fra produktionen, d.v.s., det beregnes, hvor mange foderenheder produktion og vedligehold modsvarer. Man kan herefter opstille ligningen

$$(27) \quad y = k (1,43 P_{f_P} + 1,91 F_{f_F} + 1,00 T_{f_T} + 1,00 E_{f_D}) V,$$

hvor y er den ved produktionen bestemte mængde foderenheder pr. kg tørstof. Løses (27) med hensyn til V fås ensilagens værdital. Det indses let, at alle forsøgets usikkerheder overføres til V , både de usikkerheder, der er forbundet ved bestemmelse af parentesens værdi og de usikkerheder, der er forbundet med bestemmelse af y . Den sikkerhed, hvormed y kan bestemmes, er dels bestemt af de uundgåelige forsøgsfejl, som i disse meget komplicerede forsøg må antages temmelig store, dels af usikkerheder ved forudsætningerne. Eksempelvis regnes sædvanligvis med, at et kg tilvækst modsvarer 4,0 foderenhed; men er en større eller mindre del af tilvæksten kød, vil energikravet være væsentlig mindre, og den beregnede mængde foderenheder bliver da for høj (Christiansen, Skovborg og Andersen, 1972). Det samlede resultat bliver, at værditalle kun kan bestemmes med en meget begrænset sikkerhed. Ud fra forsøg med 6 ensilager, hvor værditalle bestemtes til værdier mellem 0,74 og 0,83, konkluderer ovennævnte forfattere da også, at usikkerheder på bestemmelsen er så stor, at denne ret betydelige forskel ikke kan anses for statistisk signifikant,

hvorfor det betragtes som rimeligt at regne med værditallet 0,80 i alle tilfælde.

Da den teknik, der er anvendt i disse forsøg, er så god, at den formentlig ikke kan forbedres afgørende, er det antagelig urealistisk at forventte, at man ved fremtidige forsøg kan opnå større præcision. Dette er i realiteten ensbetydende med, at det er umuligt ud fra fodringsforsøg at få præcise og entydige svar på vigtige spørgsmål vedrørende grovfoderdyrkning, konservering og fodring.

Med den temmelig store usikkerhed på forsøgsresultaterne, som vi øjensynlig nødvendigvis må acceptere, opstår det problem, om man ikke ved en ændring i forsøgenes målsætning og tolkning kan opnå forbedrede oplysninger. Så vidt jeg kan skønne, er dette muligt, hvis arbejdsmåden ændres noget i retning af den, der sædvanligvis anvendes i de eksakte videnskaber, hvor man opstiller en teori for, hvilket resultat man vil opnå ved et forsøg, d.v.s., at forsøgene generelt tjener til at teste hypoteser. Et simpelt eksempel på, hvordan denne arbejdsmetode måske kan praktiseres, skal anføres i det følgende. Som tidligere omtalt kan man ud fra den kemiske sammensætning af henholdsvis bederoer og kårloer opstille den hypotese, at værditalle for de to roesorter må forholde sig som 3942 : 3736 eller som 1,000 : 0,948. Ud fra fodringsforsøg fandt Frederiksen (1969), at værditallet for bederoer var 79 men for kårloer 78. (Altså ikke overensstemmende med N.J.F.'s normer!). Med den sikkerhed, der er på bestemmelse af et værdital, er Frederiksen's resultat foreneligt med hypotesen om, at værditalle forholder sig som 1,000 : 0,948. Men resultatet er også foreneligt med den hypotese, at værditallet for bederoer og kårloer er ens, en hypotese, som ville være naturlig, hvis man ikke havde kendskab til den kemiske sammensætning, men noget urimelig, når sammensætningen kendes.

Overensstemmelsen mellem forholdene 1,000 : 0,948 og 79 : 78 er imidlertid ikke særlig overbevisende, og det er derfor naturligt at spørge, om forskellen udelukkende skyldes de tilfældige forsøgsfejl, eller der kan være

forhold, der helt eller delvis forklarer forskellen. Det er her nærliggende at erindre, at kålroer er meget tilbøjelige til at brækkes ved tørstofbestemmelsen – væsentligst vist ved Maillards reaktion, hvorfor den tørstofprocent, man finder, antagelig ligger ret betydeligt under den »sande« værdi. Dette gælder derimod ikke for bederoer (disakkarider reagerer ikke ved Maillards reaktion), og den tørstofprocent, der bestemmes ved tørring, må derfor formodes meget nær at være den »sande« værdi. Denne forskel i reaktion overfor tørstofbestemmelsen kan udmærket være forklaringen på, at det eksperimentelt fundne forhold mellem værditalle afviger ret betydeligt (men dog ikke signifikant) fra det forventede. Konklusionen af det foregående er, at Frederiksens resultater er i overensstemmelse med følgende hypoteser:

1. Foderværdien af roer er proportional med energiindholdet.
2. Foderværdien af roer er proportional med det »sande« tørstofindhold.
3. Foderværdien af roer er proportional med tørstofindholdet, som det bestemmes ved de sædvanligt anvendte metoder. Det bemærkes, at er denne hypotese rigtig, kan det skyldes:
 - a) Foderværdien af det »sande« tørstof i de to roearter er ens og at det tørstofindhold, der bestemmes ved den anvendte metode, er proportional med det »sande« tørstofindhold.
 - b) Foderværdien af det »sande« tørstof i i de to roearter er forskelligt, men dette kompenseres ved, at det tørstofindhold, der bestemmes ved den anvendte metode, afviger forskelligt fra den »sande« værdi for de to roearter.

Resultaterne er imidlertid også i overensstemmelse med, at der er en (mindre) forskel på foderværdien af de to roearter

- a) Energi
- b) »Sande« tørstof
- c) Tørstof, som det bestemmes ved de sædvanlige metoder.

Resultaterne er således i overensstemmelse med (eller rettere: ikke i strid med) mindst 6 forskellige hypoteser. Det må således være indlysende, at det er af stor vigtighed, hvilken af disse hypoteser, man vælger at teste, og rimeligst er det da at teste den hypotese, som ud fra andre vidnesbyrd må formodes at være den rigtige. Efter forfatterens opfattelse er den første hypotese den rimeligste og derfor den, der bør testes.

Fremgangsmåden ved bestemmelse af værditallet bliver da, at først bestemmes et værdital for energien, hvilken værdi er den, der har forskningsmæssig interesse. Til brug i den praktiske fodringslære kan ud fra denne værdi beregnes værdital baseret på tørstofindholdet.

VIII. Resumé

I. Indledning

Afhandlingen tilstræber at give en kritisk vurdering af forskellige mål for ensileringstab, og er dels baseret på forsøg gennemført ved Ødum forsøgsstation og dels på litteraturstudier.

Det er præciseret, at det især er tilsigtet at klarlægge, hvordan tabet af energetisk foderværdi mest hensigtsmæssigt bestemmes, men at også tabet af kvælstofholdige stoffer er omtalt.

II. Stoffab ved ensilering

Tabet af tørstof er et ufuldkomment mål for ensileringstab, fordi det sædvanligvis er de mest værdifulde stoffer, der tabes ved ensileringen. Hertil kommer, at bestemmelsen af tørstof er behæftet med mange usikkerheder, idet der ved tørringen kan ske tab ved oxidation og ved fordampning. Disse usikkerheder kan imødegås beregningsmæssigt (korrektion for fordampning af flygtige stoffer) eller ved forbedret metodik (vakuamtørring, vandbestemmelse ved destillation med toluen), men helt eksakt bestemmelse kan ikke nås.

Tabet af organisk stof er principielt et bedre mål for ensileringstab. Men bestemmelsen af tabet af organisk stof er naturligvis behæftet

med alle de usikkerheder, der er forbundet ved bestemmelse af tørstoffet. Hertil kommer, at aske og mineralstoffer ikke kan anses for at være identiske begreber, idet asken oftest indeholder store mængder karbonat – indtil ca. 30 % – der væsentligst er dannet ud fra organiske stoffer under forbrændingen. Dette betyder, at den fraktion af tørstoffet, der betegnes som organisk stof (= tørstof ÷ aske), må formodes ofte at være noget mindre end tørstoffets indhold af organiske stoffer. Hertil kommer, at askebestemmelsen er behæftet med forskellige usikkerheder, idet askens karbonatindhold kan ændres drastisk, hvis afgrøden forurenes med jord eller der tilsættes uorganiske stoffer ved ensileringen, f. eks. svovlsyre.

Tabet af sandfri tørstof bestemmes vist sjældent i ensileringsforsøg, men er medtaget, fordi også sandbestemmelsen giver visse problemer, idet jordens sandpartikler ved analysen angribes af den alkaliske planteaske, hvorved en del af sandet bliver opløseligt.

Tabet af kvælstofforbindelser er, når der ses bort fra tab ved saftafløb, sædvanligvis meget små. Men under ensileringen sker i et betydeligt omfang nedbrydning af renprotein til lavere kvælstofforbindelser. Hvilke konsekvenser dette har for ensilagens foderværdi er i øjeblikket noget uklart.

III. Tab af foderværdi

Det er forudsat, at foderværdien måles i skandinaviske foderenheder, og det er ikke diskuteret, om andre foderværdimål måtte være mere hensigtsmæssige.

Bestemmelse af afgrødens og ensilagens indhold af foderenheder forudsætter, at den kemiske sammensætning bestemmes ved foderanalyse, at fordøjeligheden af de enkelte komponenter bestemmes, og at der fastlægges et værdital.

Det påvises, at man ved fodermiddelanalysen kun opnår et mangelfuldt udtryk for fodermidlets sammensætning, bl. a. fordi træstof består af forskellige stoffer af vidt forskellig værdi, og fraktionen Nfe er defineret som en

rest, således at alle såvel principielle som tilfældige usikkerheder påvirker denne fraktion.

Bestemmelse af de enkelte fraktioners fordøjelighed volder en del vanskeligheder, og det betvivles, at man ved almindelige fordøjelsesforsøg reelt kan bestemme fordøjeligheden af de enkelte fraktioner, og det vises, at det egentlig er uden større betydning, om de partielle fordøjelighedskoefficienter bestemmes, idet foderværdien med god tilnærmelse kan beregnes alene ud fra den kemiske sammensætning og fordøjelighedskoefficienten for organisk stof.

Bestemmelse af fordøjeligheden in vivo lader sig kun sjældent gennemføre i forbindelse med ensileringsforsøg, og man er da henvist til på en eller anden måde at estimere fordøjeligheden. Forskellige fremgangsmåder, såsom beregning af fordøjeligheden ud fra den kemiske sammensætning, bestemmelse af fordøjeligheden in vitro m. m. er diskuteret, og det konkluderes, at alle hidtil kendte fremgangsmåder er behæftet med betydelig usikkerhed.

I forbindelse med ensileringsforsøg er det oftest ikke muligt at gennemføre alle de bestemmelser, som er nødvendige for gennemførelse af foderenhedsbestemmelsen efter standardformlen. Konsekvensen af at modificere formelen på visse punkter, ved at erstatte fordøjelseskoefficienterne for de enkelte stofgrupper med fordøjelighedskoefficienten for organisk stof etc., er derfor diskuteret. Det er her bl. a. påvist, at for græsafgrøder fås næsten samme resultat, når foderværdien beregnes ud fra afgrødens indhold af fordøjeligt organisk stof og råprotein, som ved beregning ud fra standardformlen.

Fastsættelsen af et værdital er en af de vanskeligste opgaver ved foderværdiberegningen, da værditallets betydning i realiteten ikke kan definere som andet end en størrelse, der må korrigeres for fejl – såvel principielle som tilfældige – som foderværdiberegningen iverigt er behæftet med. Det er fremhævet, at definitionen af værditallet burde kunne præciseres noget mere entydigt, end tilfældet er. Forskellige måder at estimere værditallet på er diskuteret.

IV. Sammenfattende vurdering af mulighederne for en tilfredsstillende bestemmelse af ensilerings-tab ved de traditionelt anvendte metoder

Det konstateres, at bestemmelse af ensilerings-tab frembyder en række vanskeligheder, og at ingen af de traditionelt anvendte metoder er egentlig tilfredsstillende.

V. Ensileringsprocesserne

I dette afsnit er de måder, hvorpå ensilerings-tab opstår, omtalt. Især er stof- og energiomsætningen ved anaerobe og aerobe omsætninger behandlet. Det er her konstateret, at stof-tab og energitab ikke står i noget bestemt forhold til hinanden hverken ved anaerobe eller aerobe omsætninger. Da tabet af foderværdi må formodes væsentligst at være bestemt af energitabet, er det således egentlig principielt uheldigt at benytte stoftabet som mål for ensilerings-tab. Specielt er fremhævet, at kuldioxidudvikling, der undertiden benyttes som mål for ensilerings-tab, praktisk taget ikke er forbundet med energitab. Endvidere konstateres, at ved anaerobe omsætninger er energitabet maksimalt 7 % af energien i det omsatte stof. Store energitab ved ensilering kan således kun ske, hvis der sker stærk oxidation, eller der dannes energirige luftformige forbindelser (H_2).

VI. Nyere metoder til bestemmelse af foderværditab

Det hævdes indledningsvis, at det ville indebære store fordele, om foderværdiberegningen baseredes på direkte bestemt energi.

Dette giver dog mange vanskeligheder, idet de tekniske problemer ved bestemmelse af energi i fugtige foderprøver endnu ikke er overvundet.

Der er dog muligvis en vej frem, hvis den sædvanlige bestemmelse af tab som differens mellem afgrødens og ensilagens indhold erstattes med en mere direkte bestemmelse af tabene. Tabet i ensilagesaften kan bestemmes med stor relativ sikkerhed ud fra analyser af saften, selv om denne analyse er ret usikker. Energitab ved oxidation kan beregnes med meget stor sikkerhed ud fra den forbrugte mængde ilt, og vil andrage ca. 3,52 kcal pr. g ilt. Ligeledes vil

energitabet i brint kunne bestemmes eksakt ved måling af mængden. Det vanskeligste bliver utvivlsomt at bestemme de øvrige energitab ved anaerobe processer. Da disse processer, som nævnt, ikke kan give energitab over ca. 7 %, skulle tabet dog kunne bestemmes med god tilnærmelse ud fra mængden af stofskifteprodukter – væsentligst flygtige syrer og alkohol.

Det kan iøvrigt betvivles, at der til disse sidstnævnte energitab svarer et tab af foderværdi, da tabene, hvis de ikke er sket under ensileringen, vil ske i koens vom.

Selv om energitabet bestemmes eksakt, vil der opstå en del problemer ved vurdering af, hvor stort et tab af foderværdi, der svarer til et givet energitab, bl. a. beroende på, at den energi, der tabes, må formodes overvejende at være fordøjelig energi, medens en betydelig del af den resterende energi er ufordøjelig.

VII. Appendiks

I dette afsnit er kort berørt nogle problemer ved anvendelse af fodringsforsøg til bestemmelse af ensilerings-tab. Det er konstateret, at man ved denne art forsøg vel kan sammenligne ensileringsmetoder, men eksakt kan ensilerings-tabet ikke bestemmes, da grønafgrødens foderværdi ikke kan bestemmes.

Iøvrigt er forsøgene meget krævende i teknisk henseende, hvorfor antallet af forsøg, der kan gennemføres, vil være meget begrænset, og hertil kommer, at resultaterne af selv de bedst udførte forsøg er så usikre, at der sjældent vil kunne drages sikre slutninger direkte ud fra forsøgene.

Det foreslås derfor, at forsøgene fortrinsvis anvendes til testning af hypoteser, der må opstilles på basis af resultater af andre typer forsøg.

IX. Summary

I. Introduction

The aim of the paper is to give a critical evaluation of different measures of ensiling losses. Most emphasis is laid on the deter-

mination of the loss of energetic feeding value, but also the loss of nitrogen has been discussed.

II. Losses of dry matter, organic matter and nitrogen during ensilage

The loss of dry matter is an incomplete measure of the ensiling loss due to the fact that it is the most valuable part which is lost during ensilage. To this may be added that the determination of dry matter may be affected by various errors, oxidation of labile compounds, evaporation of volatiles during drying etc. These errors may in different ways be reduced (drying in vacuum, correction for loss of volatiles, determination of water by toluene distillation etc.), but absolutely exact determination of dry matter will probably never be achieved. In principle the loss of organic matter is a better measure of ensiling loss than the loss of dry matter. However, the determination of organic matter is encumbered with all the errors of the dry matter determination, and to this may be added errors in the estimation of minerals. The main error is that the contents of ash is not identical with the contents of minerals, one of the reasons being that the ash may contain considerable amounts of carbonate – up to about 30 per cent – which obviously is formed from organic matters during combustion. This means that the fraction of the dry matter that is called organic matter often will be a little less than the content of real organic matter. The content of carbonates of the ash may be drastically reduced if the material is contaminated with soil. The same is the case if inorganic acid, for instance sulphuric acid, is added, which in experiments where the effects of additives are studied may lead to false conclusions.

The loss of nitrogenous compounds usually will be negligible, however, considerable degradation of protein may occur during ensilage.

III. Loss of feeding value

Determination of feeding value presuppose estimation of chemical composition, digestibility of the individual components and of a value factor.

The proximate feed analysis gives only a rough picture of the composition of a feed. For instance the crude fiber includes compounds of very different value and the same is the case for the Nfe-fraction, and furthermore all the uncertainties of the feed analysis are pooled in this fraction.

It is doubted that the digestibility of the individual fractions can be estimated separately, and it is shown that calculation of the feed value on basis of the contents of digestible organic matter and of crude protein gives almost the same result as calculation after the standard procedure.

In connection to ensilage experiments it is very often impossible to make in vivo determinations of the digestibility and other ways of estimation thus must be considered. Various ways in carrying out the estimation of digestibility are discussed, and it is concluded that all hitherto known methods are rather uncertain.

To estimate a reliable value factor is very difficult, one of the difficulties being that this quantity in fact has no real definition, in reality it may only be defined as a figure that corrects for all errors made in the calculation of feeding value. It is stressed that it was desirable if the number of errors which the factor must correct for could be narrowed. Different ways of estimation of the factor are discussed.

IV. Summarizing evaluation of the possibilities of satisfying determination of ensiling loss by conventional methods

It is demonstrated that determination of ensiling losses implies a great many difficulties, and that none of the hitherto used methods are really satisfying.

V. The ensilage processes

Different ways in which silage losses occur are discussed. Particularly the losses of organic matter and energy by aerobic and anaerobic processes during ensilage are emphasized. It is demonstrated that there exist no fixed relationship between the loss of organic matter

and the loss of energy. Since the loss of feeding value must be expected mainly to be determined of the loss of energy, it is in principle not appropriate to use the loss of organic matter as a measure of ensiling loss. Specially is stressed the fact that practically no loss of energy is connected to evolution of carbon dioxide. The maximum loss of energy by anaerobic processes is less than 7 per cent of the energy in organic matter, and thus great loss of energy may only arise if strong oxidation or evolution of hydrogen occur.

VI. Novel methods for determination of loss of feeding value

It is claimed that it would imply great advantages if the estimation of feeding value could be based on direct determination of energy.

The direct determination of energy, however, involves more problems which is not yet solved.

Probably a more precise determination of ensilage losses may be achieved if the conventional determination of loss as a difference between contents of herbage and silage is replaced by direct estimation of the loss. The loss by seepage may be estimated with relatively little error despite the fact, that determination of organic matter in effluent may be rather erroneous. The loss of energy by oxidation can be determined almost exact from the amount of oxygen consumed, and will amount to about 3,52 kcal. per g of oxygen.

Similarly the loss due to evolution of hydrogen can be determined from the actual amount evolved. More difficult will be to estimate remaining loss by anaerobic processes. Since this loss cannot exceed 7 % it should be possible to estimate the loss with fair approximation from the amounts of metabolites (volatiles, alcohol etc.). Moreover it may be doubted if this energy loss represents a real loss of feeding value since the main part of this loss will occur in the rumen if it has not occurred during ensilage.

Even if the energy loss is determined exactly

the problem, how the loss of feeding value corresponds to a certain loss of energy, still remains, one of the reasons being that the energy lost presumably mainly is digestible energy while a considerable part of the remaining is indigestible.

VII. Appendix

In this part is mentioned some problems in using feeding experiments for estimation of ensilage losses. It is claimed that by this sort of experiments may different methods of ensilage be compared, but, the loss of feeding value during ensilage, can not be determined because of the fact that it is not possible to determine the feeding value of the crop. Besides the experiments are technically very demanding, and therefore the number of experiments which can be carried out will be rather limited. Besides this the results will – even from the most perfect experiments – be rather uncertain, and therefore really reliable conclusions may seldom be drawn directly from the experiments. Therefore it is suggested that feeding experiments chiefly may be used in testing hypothesis based on results of other types of experiments.

LITTERATUR

T.f.P. = Tidsskrift for Planteavl

Agricultural Progress, 1955. Normal acid fibre: A proposed analysis for the evaluation of roughages.

I. Walker, D. M. and Hepburn, W. R.

II. Raymond, W. F., Jones, E. C. and Harris, C. E.

III. ap. Griffith, G. and Thomas, D. C. *Agric. Progr.* 30, 118–128.

Andersen, A. C., 1934. Die Futtermittelanalyse und die Bestimmung der Verdaulichkeit der Futtermittel. *Scand. Arch. f. Physiol.* 69, 33.

Bailey, P. H., Hughes, M. and McDonald, A. N. C., 1957. Differential loss of dry matter in the laboratory grinding of dried herbage samples. *J. Brit. Grassld. Soc.* 12, 157.

Blaxter, K. L. og Graham, N. McC., 1956. The effect of grinding and cubing on the utilization of the energy of dried grass. *J. Agr. Sci.* 47, 207.

Bratzler, J. W. and Swift, R. W., 1959. A com-

- parison of nitrogen and energy determinations on fresh and oven-air dried cattle feces. *J. dairy Sci.* 42, 686.
- Breirem, Knut og Homb, Thor*, 1970. Fôrmidler og Fôrkonservering. Buskap og Avdrått, Gjøvik.
- Carpintero, M. C., Holding, A. J. and McDonald, P.*, 1969. Fermentation studies on lucerne. *J. Sci. Fd. Agr.* 20, 677.
- Christiansen, B., Skovborg, E. B. og Andersen, P. E.*, 1972. Konserverede græsmarksafgrøder til malkekøer I. 2. Beretning fra fællesudvalget for statens planteavl- og husdyrbrugsforsøg.
- Colovos, N. F., Keener, H. A. and Davis, H. A.*, 1957. Errors in drying silage and feces for protein and energy determinations. *J. Dairy Sci.* 40, 173.
- Dehority, B. A., Scott, H. W. and Johnson, R. R.*, 1968. *J. Dairy Sci.* 51, 567.
- Deinum, B.*, 1974. Structural inhibitors of quality in forage. *Växtodling* 28, 42.
- Deinum, B. and van Soest, P. J.*, 1969. Prediction of forage digestibility from some laboratory procedures. *Neth. J. Agric. Sci.*, 17, 119.
- Demarquilly, C. og Journet, M.*, 1967. Valeur alimentaire des foins condensés. *Ann. Zootech.* 16, 123.
- Dewar, W. A. and McDonald, P.*, 1961. Determination of dry matter in silage by distillation with toluene. *J. Sci. Fd. Agric.* 12, 790.
- Dijkstra, N. D.*, 1954. What has the state agricultural experiment station at Hoorn contributed to research into the feeding value of roughage. *Neth. J. Agric. Sci.*, 2, 273.
- Dijkstra, N. D. and Dirven, J. G. P.*, 1962. Digestibility and feeding value of some tropical grasses and Kudzu. *Neth. J. Agric. Sci.*, 10, 4, 275.
- Eriksson, Sture*, 1961. Förslag til proteinets analysering ock värdering. *Nordisk Jordbrugsforskning*, 43, hf. 3, 117.
- Fenner, H. and Barnes, H. D.*, 1965. Improved method for determining dry matter in silage. *J. Dairy Sci.* 48, 1324.
- Flatt, W. P.*, 1957. Effect of methods of preservation and storage of feed samples on energy losses. *J. Dairy Sci.* 40, 613.
- Frederiksen, J. Højland*, 1964. Fordøjeligheds- og afgræsningsforsøg med drøvtyggere. Licentiat-afhandling. Landøk. forsøgslab. Afd. for forsøg med kvæg og dyrefys. afd., København.
- Frederiksen, J. Højland*, 1969. Beregning af foder-værdien i græsmarksafgrøder, roer og roetop. 371. ber. fra Forsøgslaboratoriet.
- Frederiksen, J. Højland and Ochia, B. A.*, 1970. The effect of ethanol and acetic acid on milk yield and milk composition of cows given rations high in concentrates. *Acta Agr. Scand.* 20, 17.
- Fyrileiv, E.*, 1969. Noen resultater fra »Nofo's« ensileringsforsøk. *Jord og Avling*, 12, nr. 2, 9.
- Hansson, N.*, 1913. *Handbok i Utfodringslära I*. Stockholm, C. F. Fritzes bokförlag.
- Hinders, R. G. and Owen, F. G.*, 1968. Ruminal and post-ruminal digestion of alfalfa fed as pellets or hay. *J. Dairy Sci.* 51, 1253.
- Hofman, M. A. J.*, 1965. Microwave heating as an energy source for the pre-drying of herbage samples. *Plant and Soil XXIII*, 145.
- Holter, J. A. and Reid, J. T.*, 1959. Relationship between the concentration of crude protein and apparently digestible protein in forages. *J. Am. Sci.*, 18, 1339.
- Homb, T.*, 1953. Chemical composition and digestibility of grassland crops. *Acta Agr. Scand.* III. 1.
- Honig, H.*, 1968. Die Völkneroder Bilanzanlage für Silierversuche. *Wirtschaftseig. Futter*, 14, 304.
- Jarl, F.*, 1949. Ensileringsförsök ock utfodringsförsök med ensilage III. *Statens Husdjursförsök*, Medd. nr. 40.
- Jarl, F. og Hellberg, A.*, 1954. Ensileringsförsök med sura natriumsalter av fosforsyra och svavelsyra. *Stat. Husdjursförsök*, Medd. nr. 54.
- Jones, D. I. and Griffith, C. ap.*, 1968. Microwave drying of herbage. *J. Br. Grassld. Soc.* 23, 202.
- Jones, E. C. and Barnes, R. J.*, 1967. Non-volatile organic acids of grasses. *J. Sci. Fd. Agr.*, 18, 321.
- Kellner, O.*, 1905. *Die Ernährung der Landwirtschaftlichen Nutztiere*. 10. udg. (ved Fingerling) 1924. Berlin, Paul Parey.
- Kemiske Analysemetoder I*, 1939. Dyrefysiologisk Laboratorium, København.
- Kemiske Analysemetoder II*, 1944. Forsøgslaboratoriets dyrefysiologiske afd., København.
- Kivimäe, A.*, 1959. Chemical composition and digestibility of some grassland crops. *Acta Agric. Scand. suppl.* 5.
- Kristensen, R. K.*, 1923. Ensileringsforsøg I. T.f.P., 30, 575.
- Land Jensen, H., Mølle, K. G., Møller, Erik og Nørgaard Pedersen, E. J.*, 1962. Ensileringsforsøg med særlig henblik på afprøvning af tilsætningsmidler. T.f.P., 66, 256.
- Land Jensen, H., Nørgaard Pedersen, E. J., Møl-*

- ler, E. og Skovborg, E. B., 1970. Ensilering i stak eller silo. T.f.P., 73, 180.
- Laube, W., 1967. Zur Problematik der Silierung sucherreicher Futterstoffe under besonderer Berücksichtigung der Alkoholbildung. Tag. Ber. Dt. Akadä Landwirtsch.-Wiss. Berlin, nr. 92, 169.
- Lehmann, F., 1941. Die Lehre vom Ballast. Z. Tierern. Futtermittelk. 5, 155.
- Lessard, R. L. and McDonald, P., 1966. A silica gel chromatographic procedure adapted to liquid-scintillation counting of ¹⁴C labelled organic acids from plant material and silage. J. Sci. Fd. Agric., 17, 257.
- Lindhard, J., 1963. Om bestemmelse af totalkvælstof i afgrøder. Forsøgsteknisk medd. nr. 9.
- Louw, J. G., Williams, H. H. and Mayward, L. A., 1949. A new method for the study in vitro of rumen digestion. Science 110, 478.
- McDonald, P. and Dewar, W. A., 1960. Determination of dry matter and volatiles in silage. J. Sci. Fd. Agric., 11, 566.
- McDonald, P., Henderson, A. R. and Mac Gregor, A. W., 1968. Chemical changes and losses during the ensilage of wilted grass. J. Sci. Fd. Agr., 19, 125.
- Minson, D. J., 1966. The intake and nutritive value of fresh, frozen and dried Sorghum Almun, Digitaria Decumbens and Panicum Maximum. J. Brit. Grassl. Soc. 21, 123.
- Møllgaard, Holger, 1949. Lærebog i biokemi og husdyrenes ernæringsfysiologi. 4. udg. Arnold Busck, København.
- Møller, Erik, Frederiksen, J. Højland og Witt, Norman, 1973. Græsser i renbestand II. 3. beretning fra Fællesudvalget for Statens Planteavl- og husdyrbrugsforsøg, København.
- Nissen, M., 1954. Kartofflers vægt i vand. T.f.P., 57, 121.
- N.J.F.'s Fodermiddeltabel, 1969. Nordisk Jordbrugsforskning 51, nr. 1.
- Nordfeld, S., Svanberg, O. och Claesson, O., 1949. Studies regarding the analysis of crude fibre. Acta. Agric. Suecana, 3, 135.
- Nørgaard Pedersen, E. J., 1961. Om aske- og sandbestemmelse i roetop. T.f.P., 65, 435.
- Nørgaard Pedersen, E. J., 1967. Alkohol i ensilage. T.f.P., 71, 355.
- Nørgaard Pedersen, E. J., 1971. Undersøgelser over iltningsskader i ensilage. T.f.P., 75, 215.
- Nørgaard Pedersen, E. J., Frederiksen, J. Højland, Skovborg, E. B., Møller, E. og Witt, N., 1971. Græsser i renbestand I. 1. ber. f. Fællesudvalget for Statens Planteavl- og Husdyrbrugsforsøg, København.
- Nørgaard Pedersen, E. J. og Møller, E., 1965. Korrektion for tab af flygtige syrer ved tørstofbestemmelse i ensilage. T.f.P., 69, 425.
- Nørgaard Pedersen, E. J., og Møller, E., 1976. Almindelig rajgræs og kløver i renbestand og i blanding. Ber. f. Fællesudvalget for Statens Planteavl- og Husdyrbrugsforsøg. Under udgivelse.
- Nørgaard Pedersen, E. J., Møller, E. og Skovborg, E. B., 1968. Forsøg med tilsætning af myresyre og AIV-syre ved ensilering af græsmarksafgrøder. T.f.P., 72, 356.
- Nørgaard Pedersen, E. J., og Witt, N., 1972. Investigations into calorimetry II. Comparison of dry matter loss and energy loss during ensilage of grassland crops with high dry matter contents. Acta Agr. Scand. 22, 167.
- Nørgaard Pedersen, E. J., og Witt, N., 1973. Undersøgelser over forskellige græsafgrøders egnethed for ensilering. T.f.P. 77, 74.
- Nørgaard Pedersen, E. J., og Witt, N., 1974. Forsøg med ensilering af fortørret kløvergræs. T.f.P. 78, 248.
- Nørgaard Pedersen, E. J., og Witt, N., 1975. Ensilering af stærkt kvælstofgødede græsafgrøder. T.f.P. 79, 99.
- Olesen, Johs., Hedegaard, Jens, og Hostrup, Svend B., 1969. Forsøg og undersøgelser vedrørende ensilering. Fællesforsøg i Landbo- og Husmandsforeningerne, 93.
- Paloheimo, Lauri, 1961. Kritik angående vissa detaljer i fodermedelanalysen. Nordisk Jordbrugsforskning, 43, hft. 3, 139.
- Paloheimo, Lauri, 1964. Om fodermedelvårderingen. Nordisk Jordbrugsforskning, Suppl. 9., 507.
- Paloheimo, Lauri, and Paloheimo, Irja, 1949. On the estimation of the total of vegetable membrane substances. J. Sci. Agric. Soc., Finland, 33, 51.
- Paloheimo, Lauri, and Vainio, K. A., 1965. Determination of the complex of cell and wall substances in plant products. J. Sci. Agric. Soc., Finland, 37, 305.
- Playne, M. J. and McDonald, P., 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. J. Sci. Fd. Agric., 17, 264.
- Raymond, R. W., 1969. The nutritive value of forage crops. Advan. Agron. 21, 1.
- Raymond, W. F., Harris, C. E. and Kemp, C. D., 1954. Studies in the digestibility of herbage. V.

- The variation, with age, of the ability of sheep to digest herbage, with observations of the effect of season on digestive ability. *J. Br. Grassld. Soc.* 9, 209.
- Raymond, W. F., Harris C. E. and Kemp, C. D.*, 1955. Studies in the digestibility of herbage VI. The effect of level of herbage intake on the digestibility of herbage by sheep. *J. Br. Grassld. Soc.* 10, 19.
- Raymond, W. F., Minson, D. J. and Harris, C. E.*, 1959. Studies in the digestibility of herbage VII. Further evidence on the effect of level of intake on the digestive efficiency of sheep. *J. Br. Grassld. Soc.* 14, 75.
- Spedding, C. R. W.*, 1954. Effect of a subclinical worm-burden on the digestive efficiency of sheep. *J. Comp. Path.*, 64, 5.
- Statens forsøgsvirksomhed i plantekultur*, 1957. Medd. nr. 561.
- Sørensen, C.*, 1956. The xylenol method and determination of nitrate in beets. *Physiol. Plant.* 9, 304.
- Tilley, J. M. A., Deriaz, R. E. and Terry, R. A.*, 1960. The in vitro measurement of herbage digestibility and assessment of nutritive value. *Proc. 8th. Int. Grassld. Congr.* 533.
- Tilley, J. M. A. and Terry, R. A.*, 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassld. Soc.*, 18, 104.
- Todorov, N. A.*, 1967. Über Methoden zur Bestimmung der Verluste beim Silieren. *Tag. Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin*, nr. 92, 265.
- Van Soest, P. J.*, 1965. Comparison of two different equations for the prediction of digestibility. *J. Dairy Sci.* 48, 815.
- Van Soest, P. J. and Moore, L. A.*, 1965. New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value. *Proc. 9th. Int. Grassld. Congr. Sao Paulo. Paper* 424.
- Voss, N.*, 1965. Untersuchungen über die Trocken-substanzbestimmung in Gärfutter durch Tobuol-Destillation im Vergleich zur Trocknung bei 105°C. *Wirtschaftseig. Futter*, 275.
- Wainman, F. W. and Blaxter, K. L.*, 1972. The effect of grinding and pelleting on the nutritive value of poor quality roughages for sheep. *J. Agr. Sci.* 79, 435.
- Weissbach, F. und Laube, W.*, 1964. Beiträge zur Methodik der Gärfutteruntersuchung und zur Durchführung von Silierversuchen. *Z. Landw. Versuchs- und Untersuchungswes.* 10, 65.
- Whittenbury, R., McDonald, P. and Bryan-Jones, D. C. A.*, 1967. A short review of some biochemical aspects of ensilage. *J. Sci. Fd. Agr.*, 18, 441.
- Wilson, R. F., Tilley, J. M. A. and Steemers, Maria A.-TH.*, 1964. Comparison of oven drying and toluene distillation in the determination of the dry matter content of silage. *J. Sci. Fd. Agric.* 15, 197.
- Witt, Norman*, 1974. Personlig meddelelse.
- Witt, Norman*, 1975. Personlig meddelelse.
- Witt, Norman and Nørgaard Pedersen, E. J.*, 1972. Investigations into calorimetry. I. Determination of energy in grass and silage with high content of dry matter. *Acta Agr. Scand.*, 22, 63.
- Witt, Norman og Nørgaard Pedersen, E. J.*, 1975 a. Sammenligning af forskellige estimatorer for fordøjeligheden af græsafgrøders organiske stof. *T.f.P.* 79, 266.
- Witt, Norman og Nørgaard Pedersen, E. J.*, 1975 b. Sammenligning af råproteinbestemmelse udført i friske, tørrede samt tørre og formalede prøver af græsmarksafgrøder. *T. f. P.* 80 bd.

Manuskript modtaget den 24. marts 1975.